

RĪGAS TEHNISKĀ UNIVERSITĀTE
TRANSPORTBŪVJU INSTITŪTS
CEĻU UN TILTU KATEDRA

DZELZSBETONA TILTU KONSTRUKCIJU APRĒĶINI

**PĒC LVS EN 1992 „DZELZSBETONA KONSTRUKCIJU
PROJEKTĒŠANA” 1.1. UN 2.DAĻAS PRASĪBĀM**

Norādījumi kursa projekta izstrādāšanai programmā
„Transportbūves”

Uzdevums un norādījumi ir paredzēti klātienēs un neklātienēs apmācības bakalauru un maģistru studentiem studiju programmā „Transportbūves”, izstrādājot kursa projektu disciplīnā “Tilti” (tilts ar dzelzsbetona laiduma konstrukciju).

Sastādījis: Ceļu un tiltu katedras profesors, *Dr.sc.ing.* Ainārs Paeglītis

SATURS

1	DZELZSBETONA KONSTRUKCIJU APRĒĶINS	4
1.1	Materiālu raksturojumi	4
1.1.1	Betons	4
1.1.2	Koeficienti	4
1.1.3	Stiegrojums	5
1.1.4	Vides iedarbības klases	6
1.1.5	Betona aizsargkārtā	7
1.2	Betona aprēķini	9
1.2.1	Vispārēji noteikumi	9
1.2.2	Liektu elementu projektēšana pēc nestspējas robežstāvokļiem	9
1.2.2.1	Sija ar stiegrojumu stieptajā zonā	9
1.2.2.2	Sija ar stiegrojumu stieptajā un spiestajā zonā	17
1.2.2.3	Stiegrojuma šķērsriezuma laukuma noteikšana liektai sijai (blokslēma)	19
1.2.3	Sija ar T-veida šķērsriezumu	23
1.2.3.1	Efektīvais plauktu platums	23
1.2.3.2	T-veida šķērsriezuma pārbaude	24
1.2.3.3	Minimālais stieptā stiegrojuma šķērsriezums	26
1.2.4	Nestspējas robežstāvoklis bīdē	26
1.2.4.1	Elementi bez bīdes stiegrojuma	26
2.4.2	Elementi ar bīdes stiegrojumu	28
2.4.3	Noteikumi bīdes stiegrojumam	32
2.4.4	Bīdes stiprība starp plātni un sienu T-veida šķērsriezuma sijai	33
2.4.4	Bīdes pretestība virsmā starp diviem betona slāņiem	33
1.2.5	Liektu elementu projektēšana pēc lietojamības robežstāvokļiem	35
1.2.5.1	Spriegumu ierobežošana	35
1.2.5.2	Plaisu regulēšana	36
1.2.5.3	Deformācijas	37

1 Dzelzsbetona konstrukciju aprēķins

1.1 Materiālu raksturojumi

1.1.1 Betons

Betona spiedes pretestība tiek klasificēta betona stiprības klasēs pēc cilindriskās f_{ck} un kubiskās $f_{ck,cub}$ pretestības raksturīgajām vērtībām betona paraugiem 28 dienu vecumā, saskaņā ar betona tehniskajiem raksturojumiem un prasībām tā izgatavošanai un iestrādāšanai, kas doti LVS EN 206-1:2000. Betona klasi apzīmē ar burtu C un diviem skaitļiem, kur pirmais skaitlis norāda normatīvo betona cilindrisko pretestību, bet otrs – kubisko pretestību, piemēram, **C35/45**.

1.1.tabula. Normālā betona stiprības klases un mehāniskās īpašības

Betona stipr. klases	C12/15	C16/20	C20/25	C25/30	C30/37	C35/45	C40/50	C45/55	C50/60	C55/67	C60/75	C70/85	C80/95	C90/105	Paskaidrojumi
$f_{ck,cube}$ (MPa)	15	20	25	30	37	45	50	55	60	67	75	85	95	105	
$f_{ck,cyl}$ (MPa)	12	16	20	25	30	35	40	45	50	55	60	70	80	90	
f_{cm} (MPa)	20	24	28	33	38	43	48	53	58	63	68	78	88	98	$f_{cm} = f_{ck} + 8$ (MPa)
f_{ctm} (MPa)	1.6	1.9	2.2	2.6	2.9	3.2	3.5	3.8	4.1	4.2	4.4	4.6	4.8	5.0	$f_{ctm} = 0.3f_{ck}^{2/3} < C50/60$ $f_{ctm} = 2.12 \cdot \ln(1 + f_{cm}/10) > C50/60$
$f_{ctk,0.05}$ (MPa)	1.1	1.3	1.5	1.8	2.0	2.2	2.5	2.7	2.9	3.0	3.1	3.2	3.4	3.5	$f_{ctk,0.05} = 0.70 f_{cm}$
$f_{ctk,0.95}$ (MPa)	2.0	2.5	2.9	3.3	3.8	4.2	4.6	4.9	5.3	5.5	5.7	6.0	6.3	6.6	$f_{ctk,0.95} = 1.30 f_{cm}$
E_{cm} (GPa)	27	29	30	31	32	34	35	36	37	38	39	41	42	44	
ϵ_{c1} (‰)	-1.8	-1.9	-2.0	-2.1	-2.2	-2.25	-2.3	-	2.4	-2.5	-2.6	-2.7	-2.8	-2.9	
ϵ_{cu1} (‰)					-3.5					-3.2	-3.0	-2.8	-2.8	-2.8	
ϵ_{c2} (‰)					-2.0					-2.2	-2.3	-2.4	-2.5	-2.6	
ϵ_{cu2} (‰)					-3.5					-3.1	-2.9	-2.7	-2.6	-2.6	
n					2.0					1.75	1.6	1.45	1.4	1.4	$n = 1.4 + 23.4 [990 - f_{ck} / 100]^4$
ϵ_{c3} (‰)					-1.75					-1.8	-1.9	-2.0	-2.2	-2.3	
ϵ_{cu3} (‰)					-3.5					-3.1	-2.9	-2.7	-2.6	-2.6	

Apzīmējumi: $f_{ck,cube}$ – raksturīgā kubiskā pretestība (MPa); $f_{ck,cyl}$ – raksturīgā cilindriskā pretestība; f_{cm} – cilindriskās pretestības vidējā vērtība; f_{ctm} – stiepes pretestības vidējā vērtība; $f_{ctk,0.05}$ – raksturīgā stiepes pretestība (pie 5 % varbūtības daļas); $f_{ctk,0.95}$ – raksturīgā stiepes pretestība pie 95% varbūtības daļas); E_{cm} – elastības modulis; ϵ_{c1} – spiedes spriegumi konstrukciju vispārīgiem aprēķiniem; ϵ_{cu1} – maksimālās relatīvās deformācijas konstrukciju vispārīgiem aprēķiniem; ϵ_{c2} – relatīvās deformācijas konstrukciju šķērsgrīzumu projektēšanai; ϵ_{cu2} – maksimālās relatīvās deformācijas konstrukciju šķērsgrīzumu projektēšanai; n – apzīmē nomāli cietējošu cementu; ϵ_{c3} – relatīvās deformācijas idealizētai spriegumu-deformāciju diagrammai; ϵ_{cu3} – maksimālās relatīvās deformācijas idealizētai spriegumu-deformāciju diagrammai.

1.1.2 Koeficienti

1.2.tabula. Materiālu drošības koeficienti galvenajiem aprēķina gadījumiem

Slodžu kombināciju tips	Būvmateriāls		
	Betonam γ_c	Stiegrojumam γ_s	Spriegojošajam stiegrojumam γ_s
Pamatkombinācijās	1.5	1.15	1.15
Ārkārtas kombinācijās	1.2	1.0	1.0

1.1.4 Vides iedarbības klases

1.5.tabula. Ārējās iedarbības klases

Klašu apzīmējums	Vides raksturojums	Informatīvie piemēri, kuri parāda ārējās iedarbības klašu rašanās iespējas
1. Korozijas vai saēšanas risks nepastāv		
XO	Betonam bez stieģrojuma vai iebetonēta metāla: Visa veida pakļaušana vides ietekmei, izņemot vietas, kur ir sasaldēšanas/atkausēšanas, abrazīvas iedarbības vai ķīmiskas iedarbības risks. Betonam ar stieģrojumu vai iebetonētam metālam: Ļoti sausa vide	Betons celtnes iekšpusē, kur gaisa mitrums ir ļoti zems.
2. korozija, ko izraisa karbonizācija		
XC1	Sausa vai pastāvīgi mitra vide	Betons ēku iekšpusē, kur gaisa mitrums ir zems. Betons, kas patstāvīgi iegremdēts ūdenī
XC2	Slapja, reti sausa vide	Betona virsmas, kas ilglaicīgi saskaras ar ūdeni. Daudzi pamati
XC3	Vidēji mitra vide	Betons ēku iekšpusē, kur gaisa mitrums ir vidējs vai augsts. Ēku ārpusē esošs betons, pasargāts no lietus.
XC4	Cikliski mitra un sausa vide	Betona virsmas, kas pakļautas kontaktam ar ūdeni, taču ne ārējās iedarbības klases XC2 nozīme.
3. Korozija, ko izraisa hlorīdi, izņemot jūras ūdeni		
DX1	Vidēji mitra vide	Betona virsmas, kas pakļautas pa gaisu pārnestu hlorīdu iedarbībai
DX2	Mitra, reti sausa vide	Peldbaseini, betons, kas pakļauts hlorīdu saturošu rūpniecisku ūdeņu iedarbībai
DX3	Periodiski sausa un mitra vide	Tiltu daļas, kas pakļautas hlorīdus saturošām šļakatām, ietves, automašīnu stāvvietu plāksnes
4. Korozija, kuru izraisa jūras ūdenī esošie hlorīdi		
XS1	Betons pakļauts pa gaisu pārnestu sāļu iedarbībai, taču nav tiešā kontaktā ar jūras ūdeni	Būvkonstrukcijas piekrastē vai tās tuvumā
XS2	Ūdenī patstāvīgi iegremdēta konstrukcija	Jūrā esošu konstrukciju daļas
XS3	Paisuma un bēgums, šļakatu un sīku šļakatu zonas	Jūrā esošu konstrukciju daļas
5. sasaldēšanas/atkausēšanas agresīvā iedarbība ar vai bez pretapledošanas līdzekļiem		
XF1	Mērens piesātinājums ar ūdeni, bez pretapledošanas vielām	Vertikālas betona virsmas, kas pakļautas lietus un sasaldēšanai
XF2	Ūdenī patstāvīgi iegremdēta konstrukcija	Vertikālas ceļu konstrukciju betona virsmas, kas pakļautas sasaldēšanai un pa gaisu pārnestu pretapledošanas vielu iedarbībai
XF3	Liels piesātinājums ar ūdeni, bez pretapledošanas vielām	Lietum un sasaldēšanai pakļautas horizontālas betona virsmas
XF4	Liels piesātinājums ar ūdeni, ar pretapledošanas vielām vai jūras ūdeni	Ceļu un tiltu segumi, kas pakļauti pretapledošanas vielām; Betona virsmas, pakļautas tiešām šļakatām, kas satur pretapledošanas vielas; Šļakatu iedarbības zonas jūrā, kuras ir pakļautas salam
6. ķīmisku vielu iedarbība		
XA1	Nedaudz agresīva ķīmiskā vide	
XA2	Vidēji agresīva ķīmiskā vide, vai arī jūras ūdens iedarbība	
XA3	Ļoti agresīva ķīmiskā vide	

1.6.tabula Vides klasei atbilstošā betona klase

Iedarbības Klases saskaņā ar Tabulu 4.1										
Korozija										
	Karbonizācijas ierosinātā korozija				Hlorīdu ierosinātā korozija			Jūras ūdeņu hlorīdu ierosinātā korozija		
	XC1	XC2	XC3	XC4	XD1	XD2	XD3	XS1	XS2	XS3
Norādošā stiprības klase	C20/25	C25/30	C30/37		C30/37		C35/45	C30/37	C35/45	
Bojājumi betonam										
	Bez riska	Sala/atkušņa iedarbība				Ķīmiskā iedarbība				
	X0	XF1	XF2	XF3	XA1	XA2	XA3			
Norādošā stiprības klase	C12/15	C30/37	C25/30	C30/37	C30/37			C35/45		

1.1.5 Betona aizsargkārtā

Nominālajam aizsargslāņa biezumam ir jābūt noteiktam rasējumos. Nominālo aizsargslāņa biezumu definē kā minimālo aizsargslāņa biezumu c_{min} plus pielaiide Δc_{dev} .

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev};$$

Lai nodrošinātu betona un stiegrojuma kvalitatīvu sasaisti, kā arī stiegrojuma aizsardzību pret koroziju (ilgizturību), betona konstrukcija ir jāizbūvē ar minimālo betona aizsargslāni c_{min} .

$$c_{min} = \max \{c_{min,b}; c_{min,dur} + \Delta c_{dur,y} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add}; 10 \text{ mm}\}$$

Kur:

$c_{min,b}$ – minimālais aizsargslānis, kas nodrošina saistes prasības

$c_{min,dur}$ – minimālais aizsargslānis, kas nodrošina stiegrojuma aizsardzību pret vides ietekmi;

$\Delta c_{dur,y}$ – papildus aizsargslānis drošībai;

$\Delta c_{dur,st}$ – minimālā aizsargslāņa samazinājums nerūsējošā stiegru tērauda lietošanas gadījumā;

$\Delta c_{dur,add}$ – minimālā aizsargslāņa biezuma samazinājums papildus aizsargpasākumu izmantošanas gadījumā.

Lai nodrošinātu saistes prasības un atbilstošu betona sablīvējamību, minimālais aizsargslāņa biezums nedrīkst būt mazāks par tabulā norādīto $c_{min,b}$.

Minimālo aizsargslāņa biezuma vērtību virs nespriegotā un saspriegtā stiegrojuma, ievērojot vides iedarbības klases un konstrukcijas klases nosaka ar $c_{min,dur}$ vērtību.

Rekomendējamā konstrukcijas klase (aprēķina kalpošanas laiks – 50 gadi) tabulā dotajām betona stiprībām ir S4.

Betona aizsargkārtas palielinājumu vērtības: $\Delta c_{dur,y}$; $\Delta c_{dur,st}$; $\Delta c_{dur,add}$ šobrīd = 0. To vērtības, ja tas būs nepieciešams, tiks noteiktas Nacionālajā P ielikumā.

$\Delta c_{dur,y}$ – papildus aizsargslānis drošībai, šobrīd = 0.

1.7.tabula. Rekomendējamā konstrukcijas klasifikācija

Konstrukcijas klase							
Kritērijs	Iedarbības klase saskaņā ar 4.1. tabulu						
	X0	XC1	XC2/XC3	XC4	XD1	XD2/XS1	XD3/XS2/XS3
100 gadu aprēķina kalpošanas laiks	palielināt klasi par 2	palielināt klasi par 2	palielināt klasi par 2	palielināt klasi par 2	palielināt klasi par 2	palielināt klasi par 2	palielināt klasi par 2
Stiprības klase ^{1) 2)}	≥ C30/37 samazināt klasi par 1	≥ C30/37 samazināt klasi par 1	≥ C35/45 samazināt klasi par 1	≥ C40/50 samazināt klasi par 1	≥ C40/50 samazināt klasi par 1	≥ C40/50 samazināt klasi par 1	≥ C45/55 samazināt klasi par 1
Elements ar plātnes geometriju (būvniecības process neietekmē stieģrojuma novietojumu)	samazināt klasi par 1	samazināt klasi par 1	samazināt klasi par 1	samazināt klasi par 1	samazināt klasi par 1	samazināt klasi par 1	samazināt klasi par 1
Ir nodrošināta speciāla betona ražošanas kvalitātes kontrole	samazināt klasi par 1	samazināt klasi par 1	samazināt klasi par 1	samazināt klasi par 1	samazināt klasi par 1	samazināt klasi par 1	samazināt klasi par 1

1.8.tabula. Minimālā aizsargslāņa biezuma vērtības $c_{min,dur}$ nespriegotam stieģrojumam

Apkārtējās vides prasības attiecībā uz $c_{min,dur}$ (mm)							
Konstrukcijas klase	Iedarbības klases saskaņā ar 4.1. tabulu						
	X0	XC1	XC2/XC3	XC4	XD1/XS1	XD2/XS2	XD3/XS3
S1	10	10	10	15	20	25	30
S2	10	10	15	20	25	30	35
S3	10	10	20	25	30	35	40
S4	10	15	25	30	35	40	45
S5	15	20	30	35	40	45	50
S6	20	25	35	40	45	50	55

1.2 Betona aprēķini

1.2.1 Vispārēji noteikumi

Visu robežstāvokļu vienādojumu galveno noteikumu var uzrakstīt šādā vispārīgā formā:

$$S \leq R,$$

kur ar **S** - tiek raksturota ārējo spēku iedarbe, kuru vispārīgā pārbaudē izsaka ar iekšējo spēku un momenta piepūlēm, bet ar **R** – šķēsgriezuma pretestība. Iekšējo spēku un momentu noteikšanai ir jāapskata visas konstrukcijai pieliktās iedarbes.

Tilta konstrukcijai veic šādas **nestspējas robežstāvokļu** pārbaudes:

- Nestspējas robežstāvoklim liecē ar ass spēku;
- Nestspējas robežstāvoklim šķērsspēka (bīdes spēka) ietekmē;

Vienādojumu nestspējas robežstāvokļa pārbaudei var uzrakstīt, kā:

$$S_d \leq R_d.$$

Šajā vienādojumā R_d ir konstrukcijas pretestība, kas ir atkarīga no materiāla īpašībām noteiktā šķēlumā. Aprēķina lielumu vērtību materiāla īpašībām var noteikt izmantojot raksturīgās vērtības f_{yk} un f_{ck} , ņemto vērā drošības koeficientus γ_s un γ_c , t.i.:

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c};$$

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s}.$$

Atbilstoši aprēķina situācijai drošības koeficienti betonam un stiebrojumam ir doti 1.2.tabulā.

Konstrukcijai veic šādu **lietojamības robežstāvokļu** pārbaudes:

- Lietojamības robežstāvoklim uz plaisāšanu;
- Lietojamības robežstāvoklim no deformācijām;

Vienādojumu lietojamības robežstāvokļa pārbaudei var uzrakstīt, kā:

$$S_d \leq C_d,$$

Kur C_d ir atsevišķu konstrukciju vai to daļu izmaiņu pieļaujamās vērtības, piemēram, pieļaujamās deformācijas, maksimāli pieļaujamais plaisu platums, pieļaujamie spriegumi tēraudā vai betonā.

S_d ir atsevišķu konstrukciju vai to daļu izmaiņu vērtība, kas radīsies pielikto slodžu kombinācijas rezultātā.

1.2.2 Liektu elementu projektēšana pēc nestspējas robežstāvokļiem

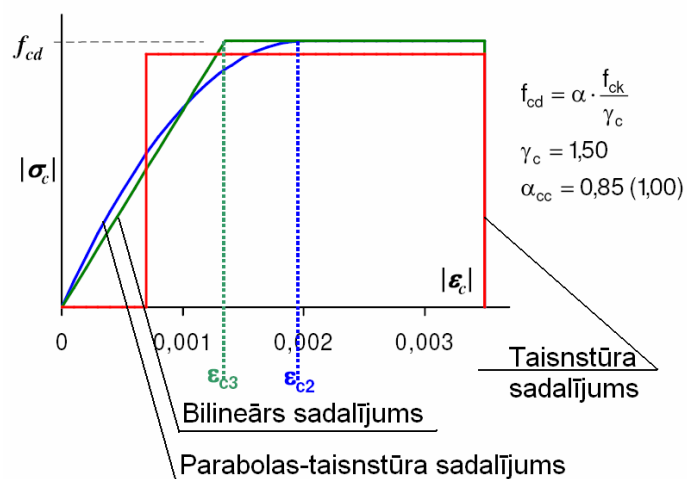
1.2.2.1 Sija ar stiebrojumu stieptajā zonā

Betona elementa ar taisnstūra šķēsgriezumu un stiebrojumu tikai stieptajā zonā aprēķina shēma dota 1.2.att., kur F_s – stiepes spēks stiebrojuma; F_c – rezultējošais spiedes spēks.

$$F_s = (f_{yk} / \gamma_c) A_s, \text{ un} \quad (1.1)$$

$$F_c = f_{av} \cdot b \cdot x, \quad (1.2)$$

Kur f_{av} – vidējais spriegums, kas atkarīgs no izvēlētās šķēsgriezuma spiestās daļas spriegumu deformācijas sakarības: parabolas-taisnstūra sadalījums, bilineārais sadalījums, taisnstūra sadalījums (1.1.att.).



1.1.att. Sprieguma-deformāciju sakarības šķērsriezuma aprēķinam

Vidējo spriegumu f_{av} un attiecību β (spiedes spēka pleca attiecība pret stiepes spēka plecu) nosaka pēc formulas:

Parabolas-taisnstūra sadalījumam :

$$f_{av} = f_{cd} \cdot \left(1 - \frac{1}{n+1} \cdot \frac{\varepsilon_{c2}}{\varepsilon_{cu2}}\right), \quad (1.3)$$

$$\beta = 1 - \frac{\frac{\varepsilon_{cu2}^2}{2} - \frac{\varepsilon_{c2}^2}{(n+1) \cdot (n+2)}}{\varepsilon_{cu2}^2 - \frac{\varepsilon_{cu2} \cdot \varepsilon_{c2}}{n+1}}, \quad (1.4)$$

Bilineārajam sadalījumam :

$$f_{av} = f_{cd} \cdot \left(1 - 0.5 \cdot \frac{\varepsilon_{c3}}{\varepsilon_{cu3}}\right), \quad (1.5)$$

$$\beta = 1 - \frac{\frac{\varepsilon_{cu3}^2}{2} - \frac{\varepsilon_{c3}^2}{6}}{\varepsilon_{cu3}^2 - \frac{\varepsilon_{cu3} \cdot \varepsilon_{c3}}{2}}, \quad (1.6)$$

Taisnstūra sadalījumam :

$$f_{av} = \lambda \cdot \eta \cdot f_{cd},$$

$$\beta = \lambda / 2.$$

Kur, n , ε_{c2} , ε_{cu2} , ε_{c3} , ε_{cu3} – no 1.1.tabulas;

$$\lambda = 0.8, \text{ ja } f_{ck} \leq 50 \text{ MPa};$$

$$\lambda = 0.8 - (f_{ck} - 50)/400, \text{ ja } 50 < f_{ck} \leq 90 \text{ MPa}$$

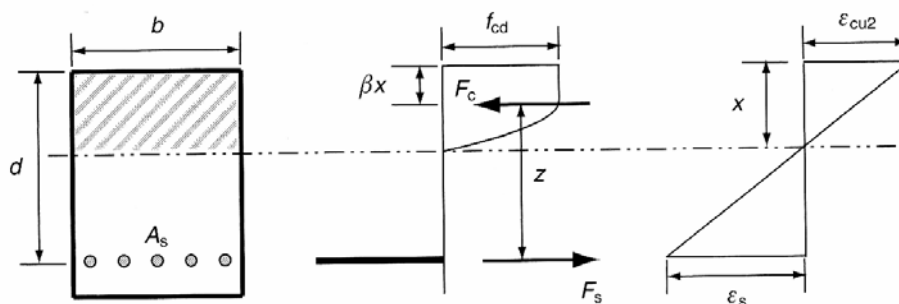
$$\eta = 1.0, \text{ ja } f_{ck} \leq 50 \text{ MPa};$$

$$\eta = 1.0 - (f_{ck} - 50)/200, \text{ ja } 50 < f_{ck} \leq 90 \text{ MPa}.$$

1.9.tabula. Vidējie spriegumi un attiecība β dažādam sprieguma-deformāciju sadalījumam pie

$$\alpha_{cc} = 0.85$$

Klase $f_{ck,cyl}$	Parabolas- taisnstūra sadalījums		Bilineārais sadalījums		Taisnstūra sadalījums	
	Vidējais spriegums f_{av} (MPa)	Attiecība β	Vidējais spriegums f_{av} (MPa)	Attiecība β	Vidējais spriegums f_{av} (MPa)	Attiecība β
C20	9.175	0.416	8.500	0.389	9.067	0.40
C25	11.468	0.416	10.625	0.389	11.333	0.40
C30	13.762	0.416	12.750	0.389	13.600	0.40
C35	16.056	0.416	14.875	0.389	15.867	0.40
C40	18.349	0.416	17.000	0.389	18.133	0.40
C45	20.643	0.416	19.125	0.389	20.400	0.40
C50	22.937	0.416	21.250	0.389	22.667	0.40
C55	23.194	0.393	22.098	0.374	23.930	0.39
C60	23.582	0.377	22.872	0.363	25.033	0.39



1.2.att. Sijas ar taisnstūra šķērs griezumu un stiegrojumu tikai stieptajā zonā (parabolas-taisnstūra spriegumu sadalījums) [1]

Sijas šķērs griezumam ar parabolais-taisnstūra sadalījumu (1.2.att.) šķēluma pretestības momentu nosaka pēc formulas:

$$M_{Rd} = F_s \cdot z = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} A_s \cdot z, \quad (1.7)$$

vai, izmantojot spiedes spēku:

$$M_{Rd} = F_c \cdot z = f_{av} \cdot b \cdot x \cdot z. \quad (1.8)$$

Līdzsvara noteikums:

$$F_c = F_s = f_{av} \cdot b \cdot x = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} A_s, \quad (1.9)$$

to var pārveidot kā:

$$\frac{x}{d} = \frac{f_{yk}}{f_{av} \cdot \gamma_c} \cdot \rho, \quad (1.10)$$

kur $\rho = \frac{A_s}{b \cdot d}$.

No spriegumu-deformācijas diagrammas:

$$z = d - \beta \cdot x, \quad (1.11)$$

Ievietojot izteiksmi 1.11 izteiksmē 1.8, iegūstam:

$$M_{Rd} = f_{av} \cdot b \cdot x \cdot (d - \beta \cdot x) = f_{av} \cdot b \cdot x \cdot \left(1 - \beta \cdot \frac{x}{d}\right) d,$$

Vai

$$\frac{M_{Rd}}{bd^2} = f_{av} \frac{x}{d} \left(1 - \beta \frac{x}{d}\right). \quad (1.12)$$

Pieņemtā sijas šķērsriezuma pretestības momentu M_{Rd} nosaka izmantojot formulas 1.7 vai 1.12.

Papildus ir jāveic šķēluma deformāciju pārbaude, lai pārliecinātos, ka stiegrojuma deformācijas var izsaukt stiegrojuma plūstamību.

No stiegrojuma spriegumu deformācijas diagrammas var iegūt:

$$\varepsilon_{s,yield} = \frac{f_{yk}}{\gamma_c E_s},$$

no 1.2.att. dotās deformāciju diagrammas

$$\varepsilon_s = \frac{\varepsilon_{cu2}}{x} (d - x) = \varepsilon_{cu2} \left(\frac{d}{x} - 1\right). \quad (1.13)$$

Lai nodrošinātu stiegrojuma plūstamību:

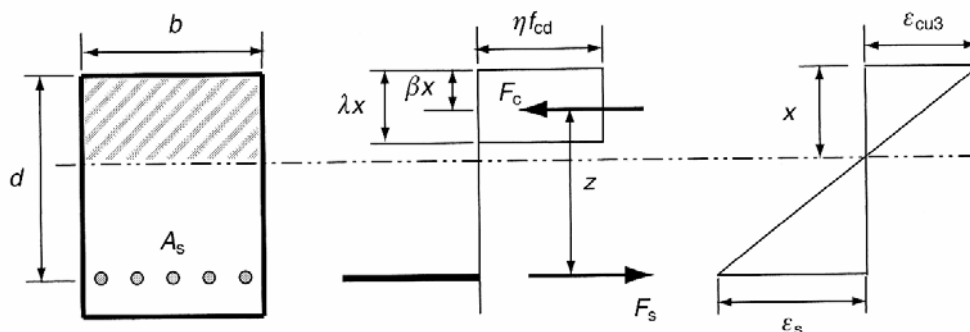
$$\varepsilon_{cu2} \left(\frac{d}{x} - 1\right) \geq \frac{f_{yk}}{\gamma_c E_s}$$

Kuru var izteikt kā:

$$\frac{x}{d} \leq \frac{1}{\left(\frac{f_{yk}}{\gamma_s E_s \varepsilon_{cu2}} + 1\right)}. \quad (1.14)$$

Ja attiecība x/d neatbilst noteikumam 1.14, tad stiegrojums nerasniedz plūstamību un formulas 1.7 un 1.12 nevar izmantot pretestības momenta noteikšanai, tādā gadījumā:

- Jāpalielina šķēluma augstums, lai tiek apmierināta nevienādība 1.14;
- Jāizmanto spiestais stiegrojums, t.i. stiegrojums gan spiestajā gan stieptajā zonā;
- Var tikt izmantoti citi paņēmieni.



1.3.att. Sijas ar taisnstūra šķērsriezumu un stiegrojumu tikai stieptajā zonā (taisnstūra spriegumu sadalījums) [1]

Sijas šķērsriezumam ar taisnstūra sadalījumu (1.3.att.) šķēluma pretestības momentu nosaka

pēc formulas:

$$M_{Rd} = f_{yd} A_s \cdot z, \quad (1.15)$$

$$\text{Kur } z = d \left(1 - \frac{f_{yd} A_s}{2 \eta f_{cd} b d} \right),$$

Un

$$x = \frac{A_s f_{yd}}{\lambda b \eta f_{cd}}. \quad (1.16)$$

Ir jāpārbauda noteikuma 1.14 izpilde (šai gadījumā ϵ_{cu2} ir jānomaina ar ϵ_{cu3}):

$$\frac{x}{d} \leq \frac{1}{\left(\frac{f_{yk}}{\gamma_s E_s \epsilon_{cu3}} + 1 \right)}.$$

Ja stiegrojums nesasniedz plūstamības robežu, tad pretestības momentu nosaka pēc formulas:

$$M_{Rd} = E_s \cdot A_s \cdot \epsilon_s \cdot z, \quad (1.17)$$

Kur, ϵ_s nosaka pēc formulas 1.13.

$$z = d \left(1 - \frac{f_{yd} A_s}{2 \eta f_{cd} b d} \right). \quad (1.18)$$

Praktisku apsvērumu dēļ stiegrojuma plūstamības pārbaudei tiek izmantota šāda izteiksme:

$$K_{av} = \frac{M_{Ed}}{b d^2 f_{av}}, \quad (1.19)$$

Kur M – moments no ārējās slodzes.

Un,

$$\frac{x}{d} = \frac{1 \pm \sqrt{1 - 4 \beta K_{av}}}{2 \beta}, \quad (1.20)$$

Svarīga ir mazākā vienādojuma sakne. Tāpat kā iepriekš attiecībai x/d ir jāatbilst noteikuma 1.14 prasībām.

Stiegrojuma laukumu nosaka pēc formulas:

$$A_s \geq \frac{M_{Ed} \gamma_s}{f_{yk} z}, \quad (1.21)$$

Kur $z = d - \beta \cdot x$, un x nosaka ar 1.20 formulu.

1.1 Piemērs [1]. Šķēluma pretestības momenta noteikšana plātnei ar stiegrojumu tikai stieptajā zonā

Noteikt nepieciešamo stiegrojuma šķērsriezuma laukumu un pietiekošu šķēluma pretestības momentu, izmantojot parabolas-taisnstūra un taisnstūra spriegumu deformāciju sadalījumu, ja dzelzsbetona plātnei pielikts 150 kNm/m lieces moments. Plātnes biezums 250 mm, betona aizsargkārtas biezums 40 mm, betona klases C35/45. Stiegrojuma klase – B500B.

Izmantotā materiāla raksturlielumi: $f_{ck} = 35$ MPa; koeficients $\alpha_{cc} = 0.85$, $\gamma_c = 1.5$; $f_{yk} = 500$ MPa, $E_s = 200$ GPa.

Aprēķins parabolās-taisnstūra sadalījumam $f_{av} = 16.056$ MPa un $\beta = 0.416$ (no 1.9.tabulas, parabolās-taisnstūra sadalījumam)

- Ar vienādojumu 1.19 nosaka:

$$K_{av} = \frac{M_{Ed}}{bd^2 f_{av}} = \frac{150 \times 10^6}{1000 \times 200^2 \times 16.056} = 0.234$$

- Ar vienādojumu 1.20 nosaka:

$$\frac{x}{d} = \frac{1 \pm \sqrt{1 - 4\beta K_{av}}}{2\beta} = \frac{1 \pm \sqrt{1 - 4 \times 0.416 \times 0.234}}{2 \times 0.416} = 0.262, \text{ (lielākā sakne = 2.14)}$$

- Pārbaudām vai stiegrojums sasniedz plūstamības robežu, noteikums 1.14:

$$\frac{1}{\left(\frac{f_{yk}}{\gamma_s E_s \varepsilon_{cu2}} + 1\right)} = \frac{1}{\left(\frac{500}{1.15 \times 200 \times 10^3 \times 0.0035} + 1\right)} = 0.6169 > x/d, \text{ tātad noteikums izpildās.}$$

- Nosaka $x = 0.262 \cdot d = 0.262 \cdot 200 = 52.4$ mm un $z = d - \beta \cdot x = 200 - 0.416 \times 52.4 = 178.2$ mm.
- Nosaka nepieciešamo stiegrojuma šķērsgriezuma laukumu:

$$A_s \geq \frac{M_{Ed} \gamma_s}{f_{yk} z} = \frac{150 \times 10^6 \times 1.15}{500 \times 178.2} = 1936 \text{ mm}^2/\text{m}.$$

Izvēlas 7 \emptyset 20 mm stiegras ar soli 150 mm, tad $A_s = 2200 \text{ mm}^2 / \text{m}$.

Aprēķins taisnstūra sadalījumam $f_{av} = 15.867$ MPa un $\beta = 0.400$ (no 1.9.tabulas, parabolās-taisnstūra sadalījumam)

- Ar vienādojumu 1.19 nosaka:

$$K_{av} = \frac{M_{Ed}}{bd^2 f_{av}} = \frac{150 \times 10^6}{1000 \times 200^2 \times 15.867} = 0.236$$

- Ar vienādojumu 1.20 nosaka:

$$\frac{x}{d} = \frac{1 \pm \sqrt{1 - 4\beta K_{av}}}{2\beta} = \frac{1 \pm \sqrt{1 - 4 \times 0.416 \times 0.236}}{2 \times 0.416} = 0.264$$

1.10.tabula. Stiegru šķērsgriezuma laukumi (mm²)

Stiegr. diam. (mm)	Stiegru skaits									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
6	28.3	56.6	84.9	113	142	170	198	226	255	283
8	50.3	101	151	201	252	302	352	402	453	503
10	78.5	157	236	314	393	471	550	628	707	785
12	113	226	339	452	566	679	792	905	1020	1130
16	201	402	603	804	1010	1210	1410	1610	1810	2010
20	314	628	943	1260	1570	1890	2200	2510	2830	3140
25	491	982	1470	1960	2450	2950	3440	3930	4420	4910
32	804	1610	2410	3220	4020	4830	5630	6430	7240	8040
40	1260	2510	3770	5030	6280	7540	8800	10100	11300	12600

- Pārbaudām vai stiegrojums sasniedz plūstamības robežu, noteikums 1.14:

$$\frac{1}{\left(\frac{f_{yk}}{\gamma_s E_s \varepsilon_{cu2}} + 1\right)} = \frac{1}{\left(\frac{500}{1.15 \times 200 \times 10^3 \times 0.0035} + 1\right)} = 0.6169 > x / d, \text{ tātad noteikums izpildās.}$$

- Nosaka $x = 0.264 \cdot d = 0.264 \cdot 200 = 52.9$ mm un $z = d - \beta \cdot x = 200 - 0.400 \times 52.9 = 178.9$ mm.
- Nosaka nepieciešamo stiegrojuma šķērsriezuma laukumu:

$$A_s \geq \frac{M_{Ed} \gamma_s}{f_{yk} z} = \frac{150 \times 10^6 \times 1.15}{500 \times 178.9} = 1929 \text{ mm}^2/\text{m.}$$

Varam izvēlēties tādu pašu stiegrojumu.

Varam pārbaudīt šķēluma nestspējas momentu izmantojot izteiksmi 1.15:

$$M_{Rd} = f_{yd} A_s \cdot d \cdot \left(1 - \frac{f_{yd} A_s}{2 \eta f_{cd} b d}\right) = 1929 \times \frac{500}{1.15} \times 200 \times \left(1 - \frac{(500/1.15) \times 1929}{2 \times 1.0 \times \frac{0.85 \times 35}{1.5} \times 1000 \times 200}\right)$$

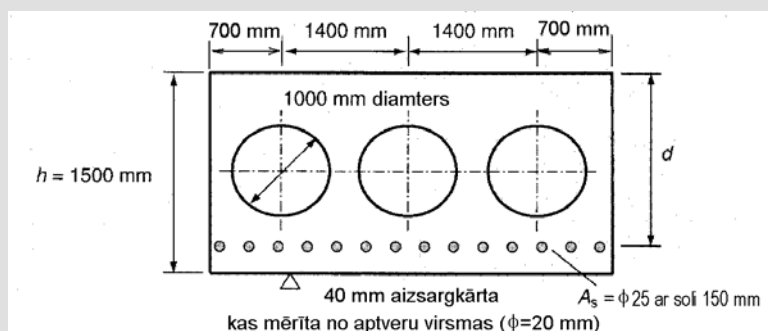
$$= 150.00 \text{ kNm / m, tātad noteikums izpildās.}$$

1.2. Piemērs [1]. Šķēluma pretestības momenta noteikšana dobai plātnei ar stiegrojumu tikai stieptajā zonā

Noteikt nepieciešamā stiegrojuma apjomu un lieces momenta pretestību dobai dzelzsbetona plātnei un, kuras šķērsriezums dots 1.4.att., ja lieces moments no ārējās slodzes laiduma vidū sastāda 3000 kNm/m. Plātne izgatavota no C35/45 klases betona un stiegrota ar B500B klases stiegrojumu. Izmantotā materiāla raksturlielumi un drošības koeficienti: $f_{yk} = 500$ MPa; $\gamma_s = 1.15$; $\gamma_c = 1.5$; $E_s = 200$ GPa.

(1) Nosaka šķēluma pretestības momentu, kuru var uzņemt ar esošo stiegrojumu.

- Lai noteiktu šķēluma pretestības momentu, pieņem, ka dobā plātne sastāv no I-veida sijām ar augšējā un apakšējā plaukta platumu 1400 mm un augstumu 250 mm. Efektīvo šķērsriezuma augstumu (d) nosaka pēc izteiksmes: $d = h - \text{aizsargkārtā} - \text{aptveres diametrs} - \frac{1}{2} \text{ no stiegrojuma diametra, t. i. } d = 1500 - 40 - 20 - 12.5 = 1425$ mm.



1.4.att. Dobās dzelzsbetona plātnes šķērsriezums [1]

- Nosaka esošā stiegrojuma šķērsriezuma laukumu:

$$A_s = \pi \cdot 12.5^2 \cdot (1400 / 150) = 4581.5 \text{ mm}^2.$$

- Aprēķinam izmanto parabolas-taisnstūra formas spriegumu-deformāciju sadalījumu spiestajā zonā ar: $f_{av} = 16.056$ MPa; $\beta = 0.416$ un $\alpha_{cc} = 0.85$ (no 1.9.tabulas, parabolas-taisnstūra sadalījumam).
- Pēc formulas 1.10 nosaka attiecību x/d :

$$\rho = \frac{A_s}{b \cdot d} = \frac{4581.5}{1400 \cdot 1425} = 0.002296, \text{ un}$$

$$\frac{x}{d} = \frac{f_{yk}}{f_{av} \cdot \gamma_c} \cdot \rho = \frac{500}{16.056 \cdot 1.15} \cdot 0.002296 = 0.0622$$

- Pārbaudām vai stiegrojums sasniedz plūstamības robežu, noteikums 1.14:

$$\frac{1}{\left(\frac{f_{yk}}{\gamma_s E_s \varepsilon_{cu2}} + 1\right)} = \frac{1}{\left(\frac{500}{1.15 \times 200 \times 10^3 \times 0.0035} + 1\right)} = 0.6169 > 0.0622 \cdot x / d, \text{ tātad noteikums}$$

izpildās.

Nosaka $x = 0.0622 \cdot d = 0.0622 \cdot 1425 = 88.6$ mm < 250 mm, tas nozīmē, ka neitrālā ass atrodas plātnes daļā virs tukšuma.

Nosaka $z = d - \beta \cdot x = 1425 - 0.416 \cdot 88.6 = 1388.1$ mm.

- Pēc 1.7.vienādojuma nosakām šķēluma pretestības momentu:

$$M_{Rd} = F_s \cdot z = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} A_s \cdot z = \frac{500}{1.15} \cdot 4581.5 \cdot 1388.1 \cdot 10^{-6} = 2765 \text{ kNm uz 1.4 m platu joslu.}$$

Tas nozīmē, ka ar esošo stiegrojumu plātne nevar uzņemt pielikto momentu un ir nepieciešams papildus stiegrojums.

(2) Nosaka nepieciešamo papildus stiegrojuma lieces momenta 300 kNm/m uzņemšanai.

- Uz 1.4 m platu joslu iedarbosies šāds moments $M_{Ed} = 1.4 \text{ m} \cdot 3000 \text{ kNm/m} = 4200 \text{ kNm}$.
- Ar vienādojumu 1.19 nosaka:

$$K_{av} = \frac{M_{Ed}}{bd^2 f_{av}} = \frac{4200 \times 10^6}{1400 \times 1425^2 \times 16.056} = 0.0920$$

- Ar vienādojumu 1.20 nosaka:

$$\frac{x}{d} = \frac{1 \pm \sqrt{1 - 4\beta K_{av}}}{2\beta} = \frac{1 \pm \sqrt{1 - 4 \times 0.416 \times 0.092}}{2 \times 0.416} = 0.0958 < 0.6169, \text{ kas iegūts pēc 1.14}$$

formulas, tātad noteikums izpildās.

Nosaka $x = 0.0958 \cdot d = 0.0958 \cdot 1425 = 136.6$ mm < 250 mm, tas nozīmē, ka neitrālā ass atrodas plātnes daļā virs tukšuma.

Nosaka $z = d - \beta \cdot x = 1425 - 0.416 \cdot 136.6 = 1388.1$ mm.

- Nosaka nepieciešamā stiegrojuma šķērsriezuma laukumu:

$$A_s \geq \frac{M_{Ed} \gamma_s}{f_{yk} z} = \frac{4200 \times 10^6 \times 1.15}{500 \times 1368} = 7060 \text{ mm}^2 \text{ uz 1.4 m platu joslu, uz 1 m, tad uz vienu metru}$$

būs $7080 : 1.4 = 5043 \text{ mm}^2/\text{m}$.

Tātad, lai uzņemtu pielikto momentu, papildus ir nepieciešams šāds stiegru šķērsriezuma laukums:

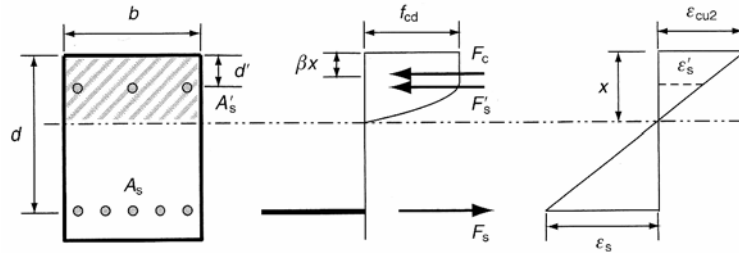
$$A_s = \frac{7060 - 4581.5}{1.4} = \frac{2479}{1.4} = 1770 \text{ mm}^2 / \text{m}; \text{ t.i.uz katru plātnes platuma metru.}$$

Tātad, papildus vajadzētu pielikt $\varnothing 20$ mm stiegras ar soli 150 mm, ar $A_s = 2094 \text{ mm}^2 / \text{m}$.

1.2.2.2 Sija ar stiegrojumu stieptajā un spiestajā zonā

Ja liektā elementa stieptajai zonai ir nepieciešams liels stiegrojuma daudzums, tad stiegrojumu paredz arī spiestajā zonā, lai samazinātu spiestās zonas augstumu. Šāda situācija rodas gadījumā, kad neitrālās ass augstums pārsniedz 1.14. formulā doto noteikumu. Doto pieeju var izmantot, lai pārbaudītu, jau esošas konstrukcijas pēc stiprības robežstāvokļa.

Taisnstūra šķērsriezuma sijas ar stiegrojumu spiestajā un stieptajā zonā shēma dota 1.5.att..



(a) šķērsriezums (b) spēki/spriegumi (c) deformācijas

1.5.att. Sijas ar taisnstūra šķērsriezumu un stiegrojumu gan stieptajā gan spiestajā zonā (parabolas-taisnstūra spriegumu sadalījums) [1]

Līdzsvara vienādojumā tiek pieņemts, ka viss stiegrojums sasniedz plūstamību:

$$F_c + F'_s = F_s = f_{av} \cdot b \cdot x + \frac{f_{yk}}{\gamma_s} \cdot A'_s = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} \cdot A_s,$$

no kurienes var iegūt:

$$x = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} \cdot \frac{(A_s - A'_s)}{f_{av} \cdot b}, \quad (1.22)$$

bet:

$$A'_s = A_s - \frac{f_{av} \cdot b \cdot x \cdot \gamma_s}{f_{yk}}. \quad (1.23)$$

Lai noteiktu spiestā stiegrojuma laukumu izmanto 1.23 formulu. Lai analizētu šķērsriegzumus ar zināmu stiegrojumu, izmanto 1.22 formulu.

Tālāk ir jāpārbauda vai spiestais stiegrojuma arī sasniedz plūstamības robežu:

$$\epsilon_{cu2} \left(\frac{d}{x} - 1 \right) \geq \frac{f_{yk}}{\gamma_c E_s}.$$

Ko var izteikt kā:

$$\frac{x}{d'} \geq \frac{1}{(1-C)}, \quad (1.24)$$

kur

$$C = \frac{f_{yk}}{\gamma_s \cdot E_s \cdot \epsilon_{cu2}}. \quad (1.25)$$

1.3.piemērs [1] Šķēluma pretestības momenta noteikšana sijai ar stiepto un spiesto stiegrojumu

Noteikt šķēluma pretestības momentu, spiestā un stieptā stiegrojuma šķērsriezuma laukumu dzelzsbetona plātnei, kuras platums 1000 mm, efektīvais šķēluma augstums $d = 275$ mm, betona klase – C35/45, spiestā stiegrojuma efektīvais augstums $d' = 50$ mm. Izmantotā materiāla raksturlielumi un drošības koeficienti: $f_{yk} = 500$ MPa; $\gamma_c = 1.15$; $\gamma_s = 1.5$.

Aprēķinam izmanto parabolais-taisnstūra formas spriegumu-deformāciju sadalījumu spiestajā zonā ar: $f_{av} = 16.056$ MPa; $\beta = 0.416$ un $\alpha_{cc} = 0.85$ (no 1.9.tabulas, parabolais-taisnstūra sadalījumam).

- Nosaka esošā stiegrojuma šķērsriezuma laukumu:

$$A_s = \pi \cdot 20^2 \cdot (1000 / 150) = 8377 \text{ mm}^2.$$

- Pēc formulas 1.10 nosaka attiecību x/d :

$$\rho = \frac{A_s}{b \cdot d} = \frac{8377}{1000 \cdot 275} = 0.0305, \text{ un}$$

$$\frac{x}{d} = \frac{f_{yk}}{f_{av} \cdot \gamma_c} \cdot \rho = \frac{500}{16.056 \cdot 1.15} \cdot 0.0305 = 0.825$$

- Pārbaudām vai stiegrojums sasniedz plūstamības robežu, noteikums 1.14:

$$\frac{1}{\left(\frac{f_{yk}}{\gamma_s E_s \varepsilon_{cu2}} + 1\right)} = \frac{1}{\left(\frac{500}{1.15 \times 200 \times 10^3 \times 0.0035} + 1\right)} = 0.6169 < 0.825, \text{ tā kā attiecība ir}$$

mazāka par faktisko attiecību x/d , tātad noteikums neizpildās un ir nepieciešams stiegrojums spiestajā zonā līdz x/d kļūs < 0.6169

- Nosaka $x_{\max} = 0.6169 \cdot d = 0.6169 \cdot 275 = 169.6$ mm.
- Noteiktajam spiestās zonas augstumam pārbauda vai stiegrojums sasniedz plūstamības robežu attālumā d' . Izmantojot formulu 1.25 nosaka C:

$$C = \frac{f_{yk}}{\gamma_s \cdot E_s \cdot \varepsilon_{cu2}} = \frac{500}{1.15 \cdot 200 \cdot 10^3 \cdot 0.0035} = 0.6211$$

Izmantojot 1.24.formulu nosaka kritisko spiestās zonas augstumu (x) pie kuras stiegrojums sasniedz plūstamības robežu:

$$x \geq \frac{d'}{(1-C)} = \frac{50}{(1-0.6211)} = 132 \text{ mm}$$

Tad pie $x_{\max} = 169.6$ mm stiegrojums sasniedz plūstamības robežu.

- Spiestā stiegrojuma noteikšanai, tad tiek izmantota 1.23.formula:

$$A'_s = A_s - \frac{f_{av} \cdot b \cdot x \cdot \gamma_s}{f_{yk}} = 8377 - \frac{16.056 \cdot 1000 \cdot 169.6 \cdot 1.15}{500} = 2113.1 \text{ mm}^2 / \text{m}$$

Pieņem $\varnothing 25$ mm stiegras, ar soli 225 mm un $A'_s = 2182 \text{ mm}^2 / \text{m}$.

- Tālāk var noteikt šķēluma pretestības momentu.

Pēc 1.22.formulas nosaka spiestās zonas augstumu (x):

$$x = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} \cdot \frac{(A_s - A'_s)}{f_{av} \cdot b} = \frac{500}{1.15} \cdot \frac{(8377 - 2182)}{16.056 \cdot 1000} = 167.8 \text{ mm} < x_{\max}.$$

Noteiktais spiestās zonas augstums pārsniedz kritisko spiestās zonas augstumu $x_{crit} = 132$ mm. Tad spēkus, kas darbojas šķēlumā var noteikt šādi:

$$F_c = f_{av} \cdot b \cdot x = 16.056 \cdot 1000 \cdot 167.8 \cdot 10^{-3} = 2693.9 \text{ kN}$$

$$F_s' = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} \cdot A_s' = \frac{500}{1.15} \cdot 2182 \cdot 10^{-3} = 948.5 \text{ kN}$$

$$F_s = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} \cdot A_s = \frac{500}{1.15} \cdot 8377 \cdot 10^{-3} = 3642.4 \text{ kN}$$

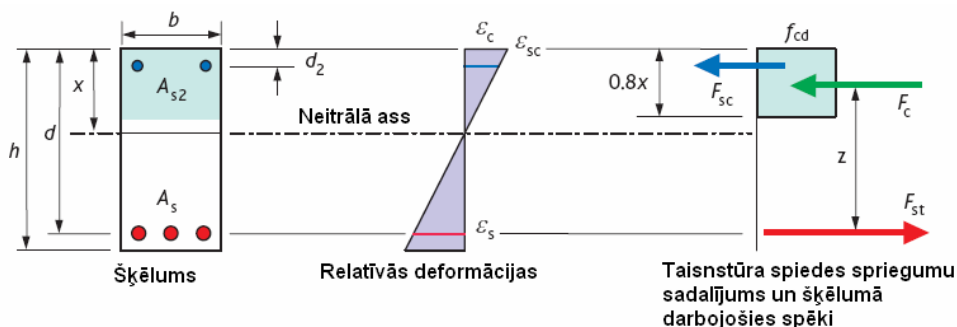
$$F_c + F_s' - F_s = 2693.9 + 948.5 - 3642.4 = 0 \text{ kN (tātad līdzsvars ir nodrošināts)}$$

Šķēluma pretestības momentu nosaka pēc formulas:

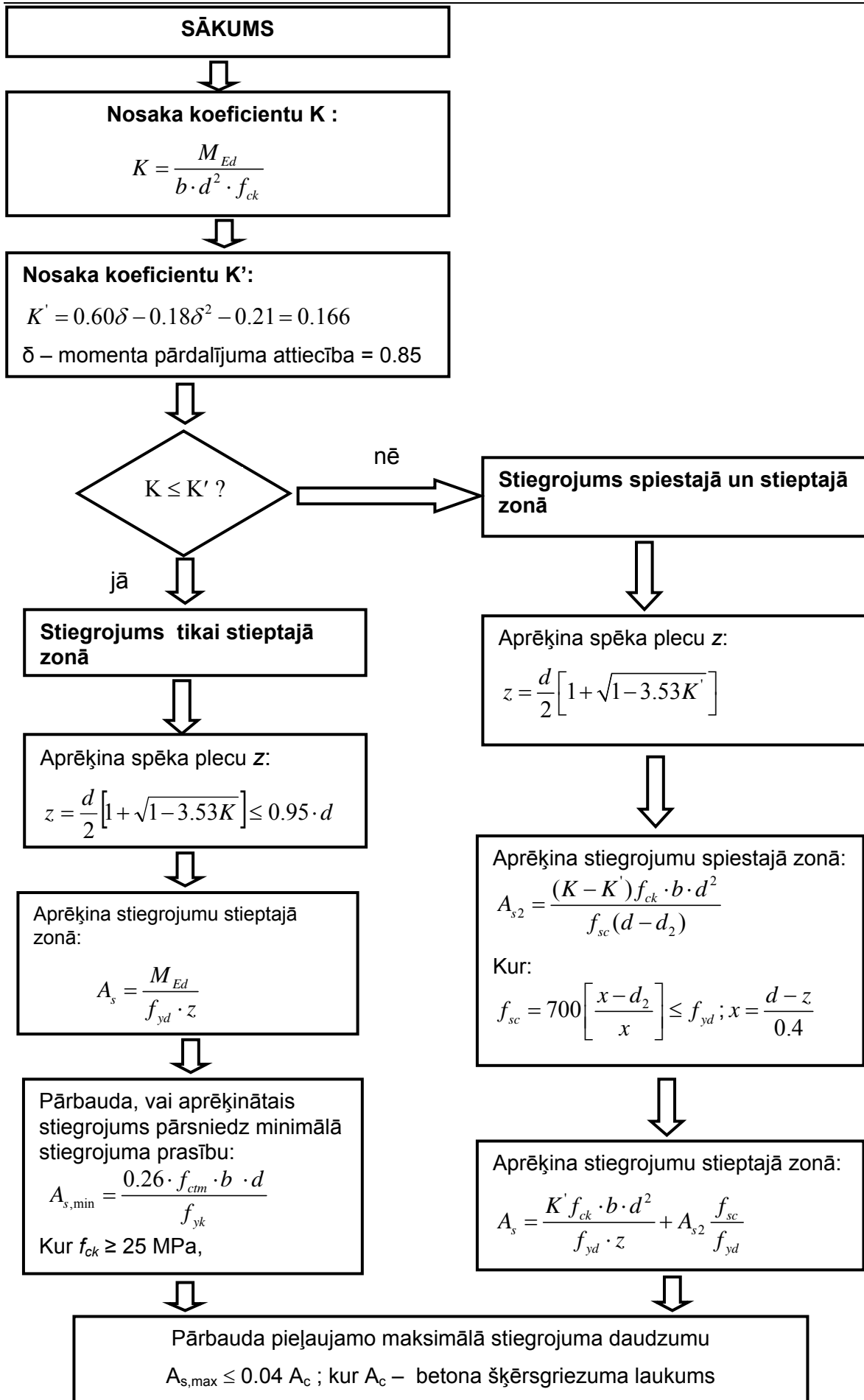
$$M_{Rd} = F_s \cdot d - F_c \cdot \beta \cdot x - F_s' \cdot d' = (3642.4 \cdot 275 - 2693.9 \cdot 0.416 \cdot 167.8 - 948.5 \cdot 50) \cdot 10^{-3} = 764.1 \text{ kNm.}$$

1.2.2.3 Stiegrojuma šķērsriezuma laukuma noteikšana liektai sijai (blokskāma)

Liektai sijai nepieciešamā stiegrojuma aprēķinu, izmantojot taisnstūra formas spriegumu-deformāciju sadalījumu spiestajā zonā, kas dots 1.6.att., var veikt arī izmantojot 1.7.att. doto blokskāmu. Blokskāmā dotās formulas var pielietot, ja betona klase $\leq C50/60$.



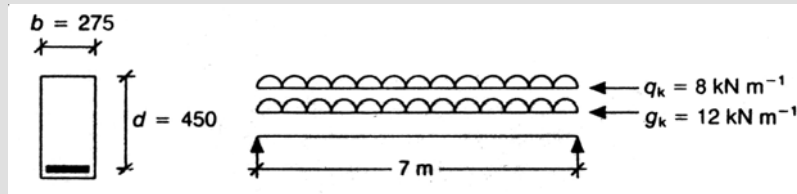
1.6.att. Spriegumu un deformāciju sadalījuma shēma aprēķina šķērsgriezumam



1.7.att. Stiegrojuma šķērsriezuma noteikšana liektai sijai (blokslēma)

1.4. PIEMĒRS Stieptā stiegrojuma aprēķins dzelzsbetona sijai

Noteikt nepieciešamo stieptā stiegrojuma šķērsriezuma laukumu A_{s1} , izmantojot šādas aprēķina pretestības: $f_{ck} = 25 \text{ N mm}^{-2}$ un $f_{yk} = 500 \text{ N mm}^{-2}$. Momentu sadalījums $\delta = 0.85$, $\gamma_s = 1.15$, $\gamma_f = 1.35$.



Maksimālā izkļiedētā aprēķina slodze w ,

$$w = 1.35g_k + 1.35q_k = 1.35 \times 12 + 1.35 \times 8 = 27 \text{ kN/m.}$$

Ārējo spēku moments M_{Ed} laiduma vidū,

$$M_{Ed} = w l^2 / 8 = (27 \times 7^2) / 8 = 165.4 \text{ kN m.}$$

Nosaka parametrus K un K' ,

$$K = M_{Ed} / (b \cdot d^2 \cdot f_{ck}) = 165.4 \cdot 10^6 / (275 \cdot 450^2 \cdot 25) = 0.119$$

$$K' = 0.166$$

$$K \leq K',$$

$$0.119 < 0.166$$

Tā kā $K < K'$, tad spiestajā zonā stiegrojums nav nepieciešams.

Stiegrojuma šķērsriezuma laukums stieptajā zonā:

$$z = (d/2)[1 + \sqrt{1 - 3.53 \cdot K}] =$$

$$= (450/2)[1 + \sqrt{1 - 3.53 \cdot 0.119}] = 396.34 \text{ mm,}$$

$$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s = 500 / 1.15 = 434.8 \text{ N/mm}^2$$

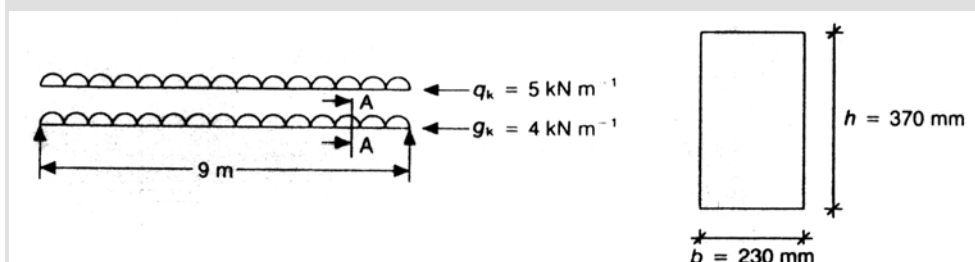
$$A_{s1} = M_{Ed} / (f_{yd} \cdot z) = (165.4 \cdot 10^6) / (434.8 \cdot 396.34) = 959.79 \text{ mm}^2 \approx 960 \text{ mm}^2$$

No stiegru šķērsriezuma laukumu tabulas (1.10.tabula) iegūstam, ka nepieciešamas 4 stiegras ar diametru 20 mm:

$$A_{s1} = 1260 \text{ mm}^2 (4 \text{ } \varnothing 20 \text{ B500B}).$$

1.5. PIEMĒRS. Stieptā stiegrojuma aprēķins dzelzsbetona sijai ar stiegrojumu spiestajā zonā

Noteikt stieptā stiegrojuma šķērsriezuma laukumu, ja betona aizsargslāņa biezums $c = 40 \text{ mm}$, $f_{ck} = 25 \text{ kN mm}^{-2}$, $f_{yk} = 500 \text{ kN mm}^{-2}$. Momentu sadalījums $\delta = 0.85$, $\gamma_s = 1.15$, $\gamma_f = 1.35$.



Kopējā izkļiedētā aprēķina slodze w ,

$$w = 1.35g_k + 1.35q_k = 1.35 \times 4 + 1.35 \times 5 = 12.15 \text{ kN/m}$$

Ārējo spēku moments M_{Sd} ,

$$M_{Ed} = (w \cdot l^2) / 8 = (12.15 \times 81) / 8 = 123.02 \text{ kN m}$$

Šķēluma lietderīgais augstums d (stieptajam stiegrojumam), ja pieņem, ka stiegru diametrs būs $\varnothing 25$ mm,

$$d = h - c - \varnothing / 2 = 370 - 40 - 12.5 = 317 \text{ mm}$$

Šķēluma lietderīgais augstums d_2 (spiestajam stiegrojumam), ja pieņem, ka stiegru diametrs būs $\varnothing 16$ mm,

$$d_2 = c + \varnothing / 2 = 40 + 16 / 2 = 48 \text{ mm}$$

Nosaka parametrus K un K' ,

$$K = M_{Ed} / (b \cdot d^2 \cdot f_{ck}) = 123.02 \cdot 10^6 / (250 \cdot 317^2 \cdot 25) = 0.212$$

$$K \leq K',$$

$$0.0.212 < 0.166$$

Tā kā $K > K'$, tad stiegrojums nepieciešams gan spiestajā, gan stieptajā zonā.

Spēka plecs z :

$$\begin{aligned} z &= (d/2)[1 + \sqrt{(1 - 3.53 \cdot K)}] = \\ &= (317/2)[1 + \sqrt{1 - 3.53 \cdot 0.212}] = 260.48 \text{ mm} \end{aligned}$$

Aprēķina stiegrojumu spiestajā zonā

$$A_{s2} = \frac{(K - K') f_{ck} \cdot b \cdot d^2}{f_{sc} (d - d_2)} = ((0.212 - 0.166) \cdot 25 \cdot 250 \cdot 317^2) / (434.8 \cdot (317 - 48)) = 227.24 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} f_{sc} &= 700((x - d_2)/x) = 700((126.8 - 48)/126.8) = 435,0 \leq f_{yd} = 500 / 1.15 \\ &= 434.8 \text{ N} \cdot \text{mm}^2 \end{aligned}$$

$$x = (d - z) / 0.4 = (317 - 260.48) / 0.4 = 125,5 \text{ mm}$$

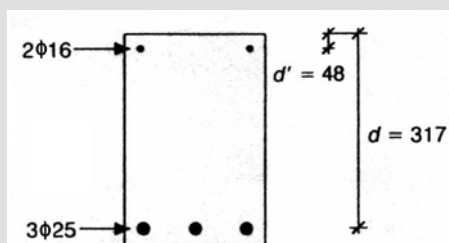
Pieņemam 2 $\varnothing 16$ B500B stiegras ar $A_{s2} = 402 \text{ mm}^2$.

Aprēķina stiegrojumu stieptajā zonā

$$\begin{aligned} A_{s1} &= \frac{K' f_{ck} b d^2}{f_{yd} \cdot z} + A_{s2} \frac{f_{sc}}{f_{yd}} = (0.166 \cdot 25 \cdot 250 \cdot 317^2) / (434.8 \cdot 260.48) + \\ &+ 227.24 \cdot (435 / 434.8) = 1074.23 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Pieņemam 3 $\varnothing 25$ B500B ($A_{s1} = 1470 \text{ mm}^2$).

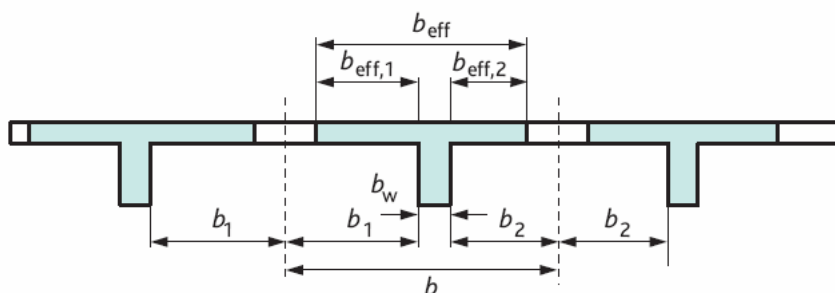
Stiegru izvietojuma shēma:



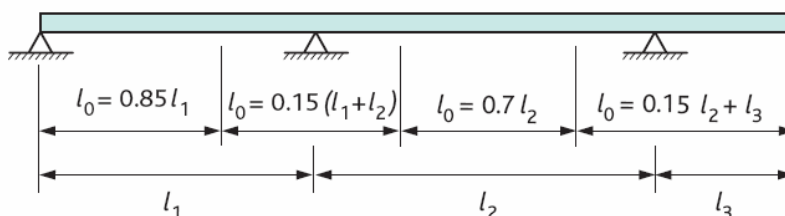
1.2.3 Sija ar T-veida šķēsgriezumu

1.2.3.1 Efektīvais plauktu platums

Dzelzsbetona elementiem ar T-veida šķēsgriezumu, efektīvo plaukta platuma izmērus nosaka saskaņā ar 1.8.att. un 1.9.att. doto shēmu.



1.8.att. Efektīvā plaukta platuma izmēru noteikšanas shēma [2]



1.9.att. Attāluma l_0 definīcija, aprēķinot efektīvo plaukta platumu [2]

Efektīvo plaukta platumu simetriskai T-veida sijai var pieņemt kā

$$b_{\text{eff}} = (b_w + b_{\text{eff}1} + b_{\text{eff}2}), \quad (1.25)$$

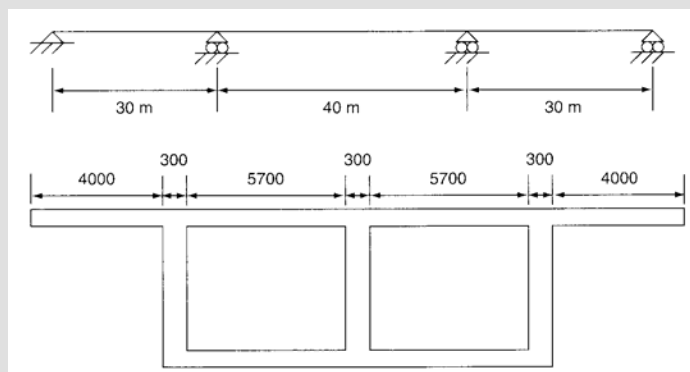
kur

$$b_{\text{eff}1} = (0.2b_1 + 0.1 \cdot l_0) \leq 0.2 \cdot l_0 \leq b_1,$$

$$b_{\text{eff}2} = (0.2b_2 + 0.1 \cdot l_0) \leq 0.2 \cdot l_0 \leq b_2.$$

1.6.piemērs. Efektīvā plaukta platuma noteikšana kastveida sijai [1]

Noteikt efektīvo plaukta platumu sijai ar kastveida šķēsgriezumu, kuras shēma ir dota 1.10.att. Efektīvais plaukta platums tiek noteikts malējai (ārējai) sijai.



1.10.att. Kastveida sijas shēma [1]

1) Efektīvais plaukta platums laiduma vidū.

$$l_0 = 0.7 \cdot l_2 = 0.7 \cdot 40000 = 28000 \text{ mm},$$

$$b_{\text{eff1}} = (0.2b_1 + 0.1 \cdot l_0) = 0.2 \cdot 4000 + 0.1 \cdot 28000 = 3600 \text{ mm}$$

$$3600 \text{ mm} \leq 0.2 \cdot l_0 = 0.2 \cdot 28000 = 5600 \text{ mm}$$

3600 mm \leq $b_1 = 4000$ mm; (tātad visi noteikumi izpildās)

$$b_{\text{eff2}} = (0.2b_2 + 0.1 \cdot l_0) = 0.2 \cdot (5700/2) + 0.1 \cdot 28000 = 3370 \text{ mm}$$

$$3370 \text{ mm} \leq 0.2 \cdot l_0 = 0.2 \cdot 28000 = 5600 \text{ mm}$$

bet 3370 mm $>$ $b_2 = 2850$ mm; (tātad aprēķinātais $b_{\text{eff,2}}$ ir lielāks par pusi no attāluma starp sijām, tādā gadījumā ir jāpieņem $b_{\text{eff,2}} = 2850$ mm).

$$b_{\text{eff}} = (b_w + b_{\text{eff1}} + b_{\text{eff2}}) = 300 + 3600 + 2850 = 6750 \text{ mm}.$$

legūtais rezultāts rāda, ka laiduma vidū tiek izmantots gandrīz viss iespējamais plaukta platums.

2) Efektīvais plaukta platums uz starpbalsta.

$$l_0 = 0.15(l_1 + l_2) = 0.15 \cdot (30000 + 40000) = 10500 \text{ mm},$$

$$b_{\text{eff1}} = (0.2b_1 + 0.1 \cdot l_0) = 0.2 \cdot 4000 + 0.1 \cdot 10500 = 1850 \text{ mm}$$

$$1850 \text{ mm} \leq 0.2 \cdot l_0 = 0.2 \cdot 10500 = 2100 \text{ mm}$$

2100 mm \leq $b_1 = 4000$ mm; (tātad visi noteikumi izpildās).

$$b_{\text{eff2}} = (0.2b_2 + 0.1 \cdot l_0) = 0.2 \cdot (5700/2) + 0.1 \cdot 10500 = 1620 \text{ mm}$$

$$1620 \text{ mm} \leq 0.2 \cdot l_0 = 0.2 \cdot 10500 = 2100 \text{ mm}$$

$$1620 \text{ mm} \leq b_2 = 2850 \text{ mm};$$

$$b_{\text{eff}} = (b_w + b_{\text{eff1}} + b_{\text{eff2}}) = 300 + 1850 + 1620 = 6750 \text{ mm}.$$

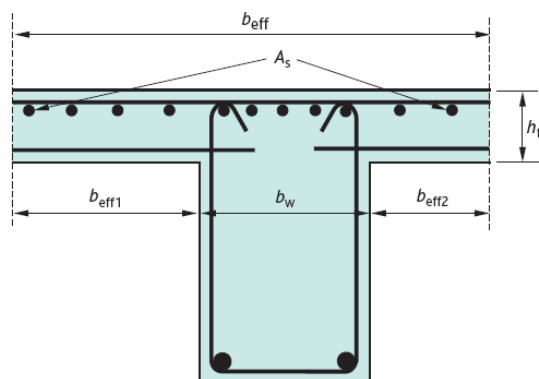
Aprēķinam virs balsta tiek ņemts vērā tikai, apmēram, puse no iespējamā plaukta platuma.

1.2.3.2 T-veida šķēsgriezuma pārbaude

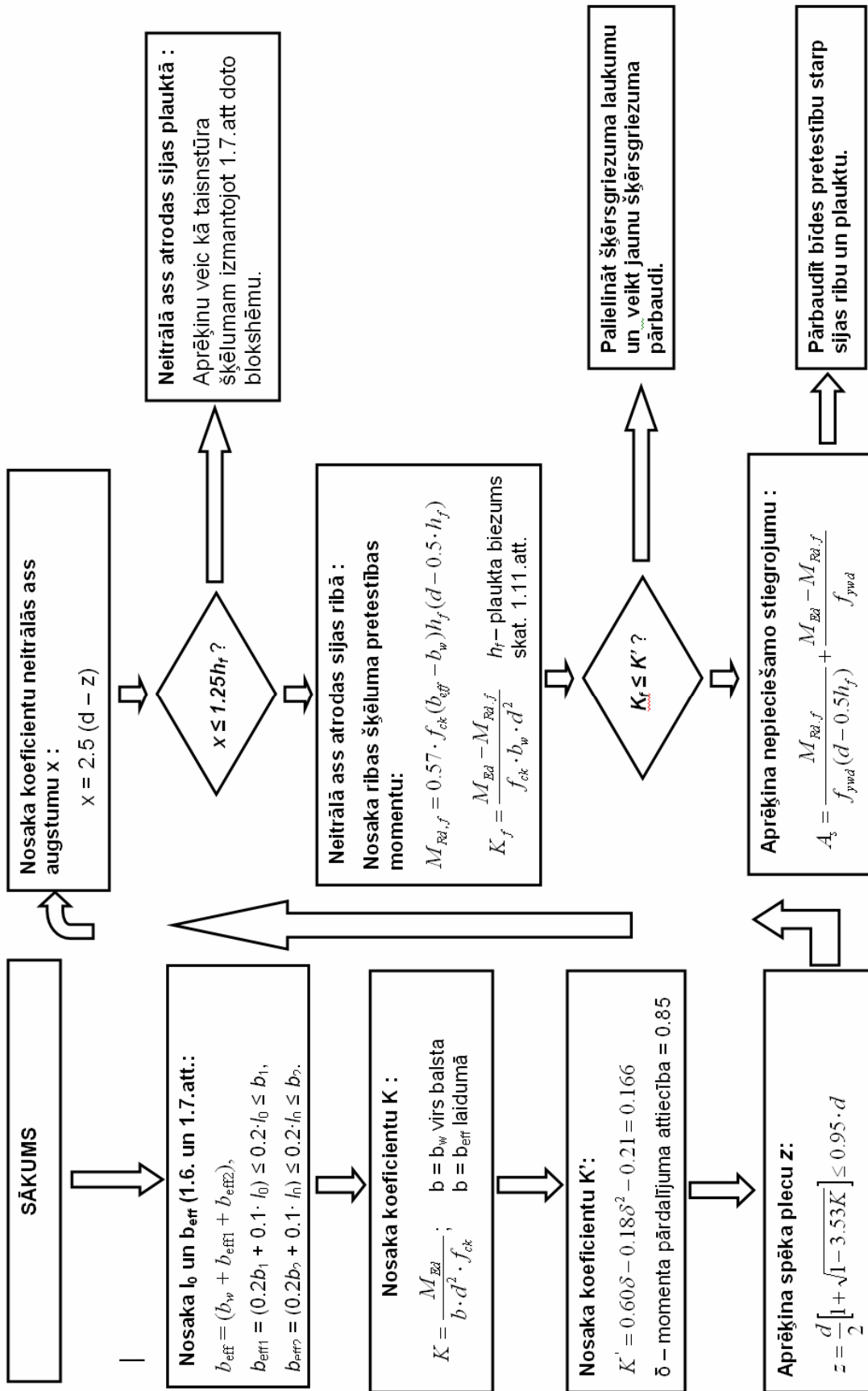
Pārbaudot liektu siju ar dubult-T veida šķēsgriezumu ir jāapskata divi gadījumi: ja neitrālā ass atrodas plauktā, vai neitrālā ass atrodas sijas ribā.

Ja neitrālā ass atrodas sijas plauktā, tad šāda sija tiek aprēķināta, kā sija ar taisnstūra šķēsgriezumu, saskaņā ar 1.2.2.sadaļā doto metodi vai 1.7.att. doto blokshēmu.

Ja neitrālā ass atrodas sijas ribā, tad šķēsgriezuma pārbaudei var izmantot 1.12.att. doto blokshēmu.



1.11.att. Stieptā stiegrojuma izvietojuma shēma sijā ar T-veida šķēsgriezumu [2]



1.12.att. Blokslēma sijas ar T-veida šķēsgriezumu pārbaudei

1.2.3.3 Minimālais stieptā stiegrojuma šķērsgriezums

Minimālo stieptā stiegrojuma šķērsgriezuma laukumu pārbauda pēc formulas:

Sijas garenstiegrojuma šķērsgriezuma laukums $A_{s,min}$, nedrīkst būt mazāks kā noteiktais pēc šādas izteiksmes:

$$A_{s,min} \geq \frac{0.26 b_t d \cdot f_{ctm}}{f_{yk}} > 0.0013 b_t d, \quad (1.26)$$

kur b - šķēluma platums, d - efektīvais augstums, f_{yk} – stiegrojuma raksturīgā plūstmības robeža, b_t – vidējais stieptās zonas platums.

Stieptā un spiestā stiegrojuma laukumi A_{s1} un A_{s2} , nedrīkst būt lielāki, kā norādīts izteiksmē:

$$A_{s1}, A_{s2} \geq 0.04 A_c$$

kur A_c - betona šķērsgriezuma laukums.

1.2.4 Nestspējas robežstāvoklis bīdē

Liektu dzelzsbetona elementus pārbauda ne tikai lieces un stiepes robežstāvoklim, bet arī robežstāvoklim bīdē (cirpē), kas rodas šķērs spēka ietekmē.

Dzelzsbetona pārbaudei izmanto šādus aprēķina bīdes spēku (šķērs spēku) veidus:

V_{Ed} - aprēķinātais šķērs spēks apskatāmajā šķēlumā, kas rodas no ārējās slodžošanas un spriegošanas;

$V_{Rd,c}$ - aprēķina bīdes pretestība betona elementam bez bīdes stiegrojuma;

$V_{Rd,s}$ – aprēķina vērtība bīdes spēkam, kuru var uzņemt bīdes stiegrojums;

$V_{Rd,max}$ – aprēķina vērtība lielākajam bīdes spēkam, kuru var uzņemt betona elements, ierobežots ar spiestās daļas sabrukumu.

Elementiem ar mainīgu augstumu, papildus tiek ņemti vērā šādi bīdes spēki:

V_{ccd} – bīdes spēka komponentes aprēķina vērtība spēkam spiestajā zonā,

V_{td} – bīdes spēka komponentes aprēķina vērtība spēkam stieptajā zonā.

Šķēluma pretestību elementam ar bīdes stiegrojumu var noteikt pēc formulas:

$$V_{Rd} = V_{Rd,s} + V_{ccd} + V_{td} . \quad (1.27)$$

Elementiem ar nemainīgu augstumu, V_{ccd} un V_{td} ir = 0.

Šķēlumos, kur $V_{Ed} < V_{Rd,c}$ bīdes stiegrojums nav jāaprēķina, tomēr jāņem vērā EC2 9.2.2.punktā dotā prasība par minimālo bīdes stiegrojumu.

Šķēlumos, kur aprēķina šķērs spēks $V_{Rd,c} < V_{Ed}$, tad bīdes stiegrojumu nosaka ar aprēķinu.

Aprēķina šķērs spēks V_{Ed} nekad nedrīkst pārsniegt $V_{Rd,max}$.

1.2.4.1 Elementi bez bīdes stiegrojuma

Aprēķina bīdes pretestību betona elementam bez bīdes stiegrojuma, nosaka pēc formulas:

$$V_{Rd,c} = (C_{RD,c} \cdot k \cdot \sqrt[3]{(100 \rho_1 \cdot f_{ck})} + k_1 \cdot \sigma_{cp}) b_w \cdot d, \quad (1.28)$$

$$\text{kur, } k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \leq 2; \text{ kur } d \text{ ir dots mm;} \quad (1.29)$$

$$\rho_1 = A_{s1}/b_w \cdot d \leq 0.02, \quad (1.30)$$

b_w - elementa platums; $\sigma_{cp} = N_{Ed}/A_c$ (MPa); A_c - šķērsriezuma laukums betonam (mm^2); A_{s1} - stieptais garenstiegrojums šķēlumā (1.13.att.); d - stiegrojuma efektīvais augstums; N_{Ed} - ass spēks šķēlumā (kolonnā); $C_{Rd,c} = 0.18 / \gamma_c$; γ_c - betona drošības koeficients; $k_1 = 0.15$.

1.7.piemērs. Betona plātne bez bīdes stiegrojuma [1].

Noteikt šķēluma bīdes pretestību $V_{Rd,c}$ 250 mm biežai betona plātnei, betona klase C35/45, pieņemot 40 mm betona aizsargkārtu virs $\varnothing 20$ mm stiegrojumam, kas novietots ar soli 150 mm.

Nosaka stiegrojuma efektīvo augstumu: $d = 250 - 40 - 20/2 = 200$ mm.

Elementa efektīvais platums $b_w = 1000$ mm.

Nosaka garenstiegrojuma šķērsriezuma laukumu: $A_{s1} = \frac{\pi \cdot (20/2)^2}{0.150} = 2094.4 \text{ mm}^2 / \text{m}$.

Izmantojot vienādojumu 1.30, nosaka ρ_1 :

$\rho_1 = A_{s1}/b_w \cdot d = 2094.4 / (1000 \cdot 200) = 0.0105 < 0.02$ (noteikums izpildās).

Pieņemot $\gamma_c = 1.50$, $C_{Rd,c} = 0.18 / \gamma_c = 0.18 / 1.5 = 0.12$.

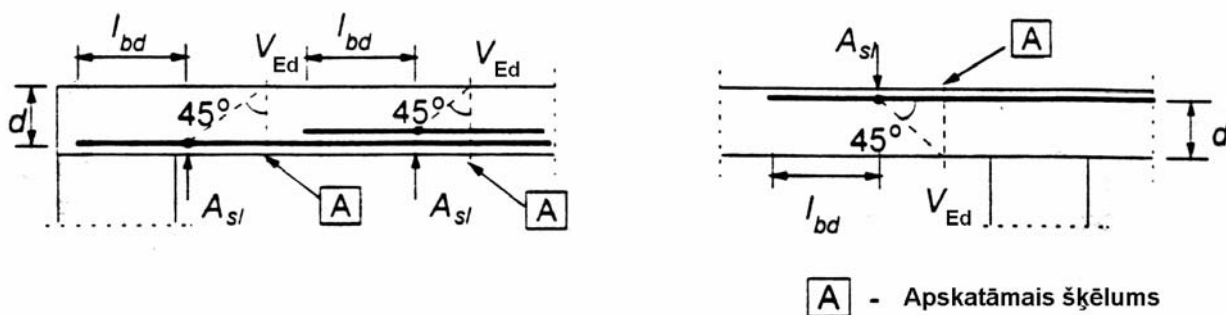
Izmantojot vienādojumu 1.29 nosaka parametru k :

$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + (200 / 200)^{0.5} = 2.0 \leq 2.0$ (noteikums izpildās).

Ignorējot ass spēku (šķēlumam nav pielikts ass spēks) pēc vienādojuma 1.28 nosaka šķēluma bīdes pretestību $V_{Rd,c}$:

$V_{Rd,c} = (C_{Rd,c} \cdot k \cdot \sqrt[3]{(100 \rho_1 \cdot f_{ck})} + k_1 \cdot \sigma_{cp}) b_w \cdot d = 0.12 \cdot 2.0 \cdot (100 \cdot 0.0105 \cdot 35)^{1/3} \cdot 1000 \cdot 200 \cdot 10^{-3} = 159.9 \text{ kN uz katru m}$.

Stieptā garenstiegrojuma ievērtēšanai bīdes uzņemšanai var izmantot 1.13.att. doto shēmu.



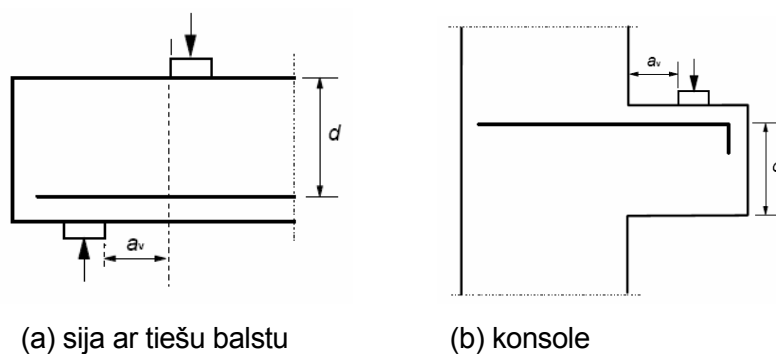
1.13.att. Shēma A_{s1} noteikšanai

Elementiem, kuriem slodze ir pielikta augšējai malai attālumā $0.5d \leq a_v \leq 2d$ no balsta malas (vai balstīklas centra, ja lieto elastomēriskās balstīklas) (1.14.att.). Šīs slodzes radīto šķērsspēku V_{Ed} var samazināt, sareizinot ar koeficientu $\beta = a_v / 2d$. Šo samazinājumu var piemērot, ja tiek nodrošināts, ka garenstiegrojums ir pilnībā noenkurots pie balsta.

Ja šķērsspēks V_{Ed} izrēķināts bez β samazinājuma, tad tas jāpārbauda pēc šādas formulas:

$$V_{Ed} \leq 0.5 \cdot b_w \cdot d \cdot v \cdot f_{cd}, \quad (1.31)$$

kur, $v = 0.6 \left[1 - \frac{f_{ck}}{250} \right]$ un f_{ck} dots MPa. (1.32)



1.14.att. Slodze tuvu balstam

2.4.2 Elementi ar bīdes stiebrojumu

Šķēlumos, kur $V_{Ed} > V_{Rd,c}$ ir nepieciešams bīdes stiebrojums, lai nodrošinātu $V_{Ed} \leq V_{Rd}$.

Dzelzsbetona elementos bīdes stiebrojuma aprēķins ir balstīts uz kopnes veida modeli (1.16.att.). Modeļa režģojuma elementu slīpumu leņķi pieņem saskaņā ar izteiksmi:

$$1 \leq \text{ctg}\theta \leq 2.5 \quad (1.33)$$

Tīrai liecei var tikt pieņemta šāda $\text{ctg}\theta$ vērtība: $\text{ctg}\theta = 1.75$ (pēc DINFB 102).

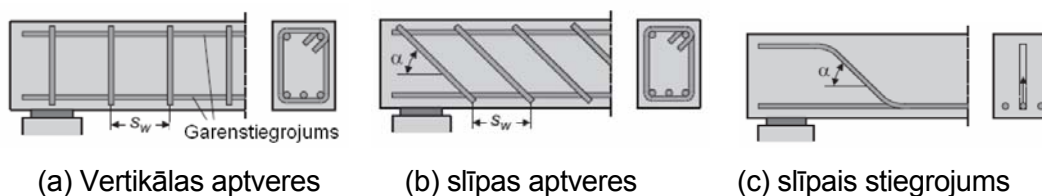
Elementiem ar vertikālu šķērsspēku uzņemošo stiebrojumu (1.15.att.) bīdes pretestība ir vismazākā vērtība no šādām izteiksmēm:

$$V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}}{s} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot \text{ctg}\theta, \text{ pārveidojot: } \frac{A_{sw}}{s} \geq \frac{V_{Rd,s}}{z \cdot f_{ywd} \cdot \text{ctg}\theta}, \quad (1.34)$$

vai

$$V_{Rd,max} = \alpha_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot v_1 \cdot \frac{f_{cd}}{\text{ctg}\theta + \text{tg}\theta}, \quad (1.35)$$

kur, $\alpha_{cw} = 1.0$ – koeficients, kas ievērtē spriegumstāvokli spiestajā zonā; $v_1 = 0.75$ – stiprības samazinājuma koeficients betonam, kas pie bīdes plaisā; b_w – sijas ribas aprēķina platums; z – maksimālā lieces momenta spēka plecs, kuru var pieņemt kā $z = 0.9 \cdot d$.

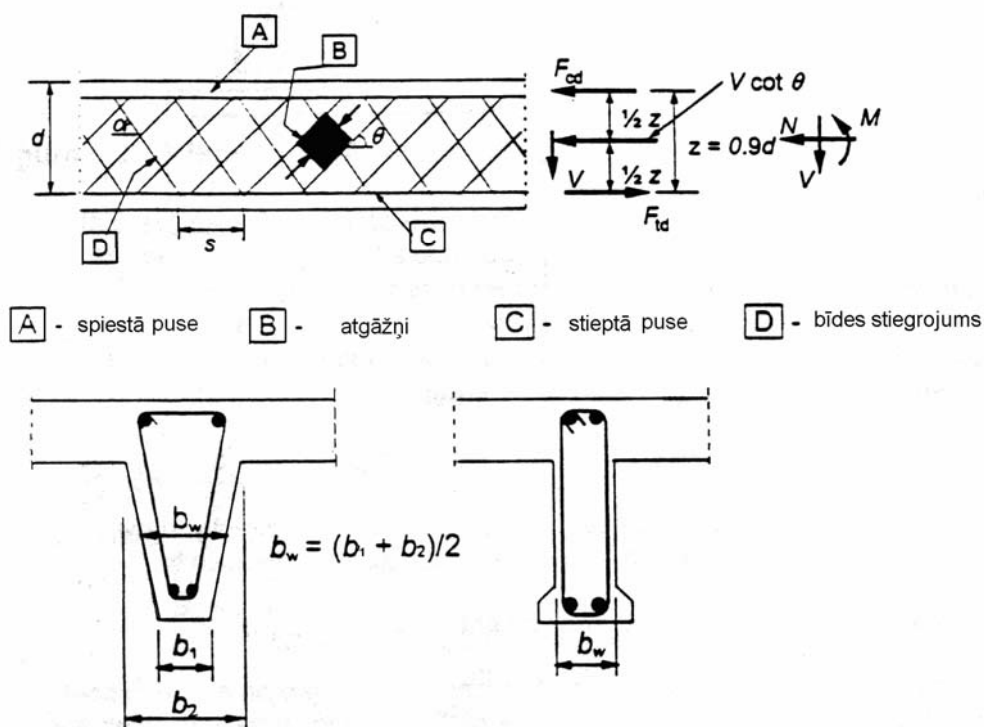


1.15.att. Stiebrojuma izvietojuma piemēri

Maksimālo efektīvo šķērsspēku uzņemošā stiebrojuma šķērsriezuma laukumu $A_{sw,max}$ pie $\text{ctg}\theta = 1.00$, aprēķina ar izteiksmi:

$$\frac{A_{sw,max} \cdot f_{ywc}}{b_w \cdot s} \leq \frac{1}{2} \alpha \cdot v_1 \cdot f_{cd}; \quad (1.36)$$

kur $A_{sw,max}$ - paredzētā bīdes stiebrojuma šķērsriezuma laukums.



1.16.att. Kopnes veida modelis un norādījumi bīdes stiegrojuma noteikšanai

Apzīmējumi dotajai shēmai: α - leņķis starp slīpo (bīdes) stiegrojumu un sijas asi perpendikulāri šķērsspēkam; θ - leņķis starp modelī pieņemto betona spiesto atgāžni un sijas asi perpendikulāri šķērsspēkam; F_{td} - stiepes spēka aprēķina vērtība garenstiegrojumā; F_{cd} - betona spiedes spēka aprēķina vērtība elementa garenass virzienā; b_w - sijas ribas aprēķina platums; z - maksimālā lieces momenta spēka plecs, kuru var pieņemt kā $z = 0.9d$

Elementiem ar slīpu šķērsspēku uzņemošu stiegrojumu (1.15.att.), bīdes pretestība ir mazākā vērtība no šādām izteiksmēm:

$$V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}}{s} z \cdot f_{ywd} \cdot (ctg\theta + ctg\alpha) \cdot \sin\alpha, \quad (1.37)$$

vai

$$V_{Rd,max} = \alpha_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot v_1 \cdot \frac{f_{cd} (ctg\theta + ctg\alpha)}{1 + ctg^2\theta}, \quad (1.38)$$

Maksimālo efektīvo šķērsspēku uzņemošā stiegrojuma šķēsgriezuma laukumu $A_{sw,max}$ pie $ctg\theta = 1.00$, aprēķina ar izteiksmi:

$$\frac{A_{sw,max} \cdot f_{ywc}}{b_w \cdot s} \leq \frac{\frac{1}{2} \alpha_{cw} \cdot v \cdot f_{cd}}{\sin\alpha}. \quad (1.39)$$

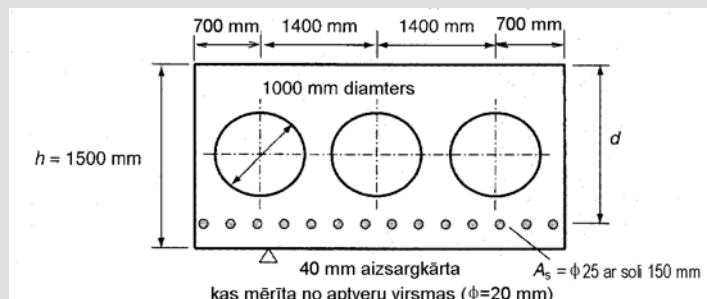
Bīdes izraisītu papildus stiepes spēku ΔF_{td} stieptajā stiegrojumā nosaka pēc formulas:

$$\Delta F_{td} = 0.5 V_{Ed} (ctg\theta - ctg\alpha), \quad (1.40)$$

pie tam, ir jāizpildās nosacījumam: $M_{Ed} / z + \Delta F_{td} \leq M_{Ed,max} / z$

1.8. PIEMĒRS: Bīdes stiegrojuma projektēšana sijai

Noteikt nepieciešamo bīdes stiegrojumu dobjai sijai, kas jau apskatīta 1.2.piemērā. Plātne izgatavota no C35/45 klases betona un stiegota ar B500B klases stiegrojumu. Pieņem, ka dobajā plātnē sastāv no I-veida sijām ar augšējā un apakšējā plaukta platumu 1400 mm un augstumu 250 mm. Efektīvo šķērssriezuma augstumu (d) nosaka pēc izteiksmes: $d = h - \text{aizsargkārtā} - \text{aptveres diametrs} - \frac{1}{2} \text{ no stiegrojuma diametra}$, t.i. $d = 1500 - 40 - 20 - 12.5 = 1425 \text{ mm}$.



Plātne ir slogota ar maksimālo šķērsspēku $V_{Ed} = 1190 \text{ kN}$, un lieces momentu $M_{Ed} = 1500 \text{ kNm}$ uz 1.4 m platu siju. Izmantojam iepriekšējā piemērā noteiktos parametrus: $d = 1425 \text{ mm}$; $z = 1388.1 \text{ mm}$; $A_s = 4581.5 \text{ mm}^2$; $f_{ck} = 35 \text{ MPa}$; $f_{yk} = f_{wyk} = 500 \text{ MPa}$; $\gamma_s = 1.15$; $\gamma_c = 1.5$, un $b_w = 400 \text{ mm}$.

Nosaka materiālu aprēķina pretestības: $f_{cd} = 1.0 \cdot 35 / 1.5 = 23.3 \text{ MPa}$; $f_{vd} = f_{wyd} = 500 / 1.15 = 434.8 \text{ MPa}$; $C_{Rd,c} = 0.18 / \gamma_c = 0.18 / 1.5 = 0.12$.

1) Nosaka $V_{Rd,c}$ pēc 1.28.formulas:

$$\rho_1 = A_{s1} / b_w \cdot d = 4581.5 / (400 \cdot 1425) = 0.00804 < 0.02 \text{ (noteikums izpildās).}$$

Izmantojot vienādojumu 1.29 nosaka parametru k :

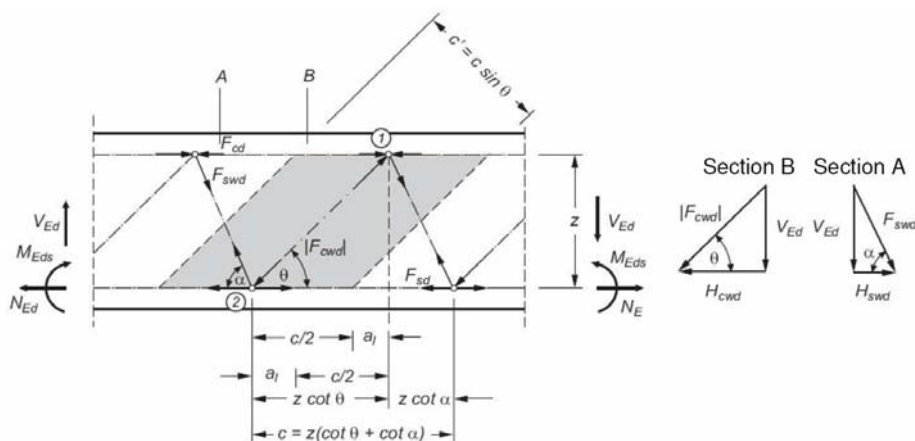
$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + (200 / 1425)^{0.5} = 1.375 \leq 2.0 \text{ (noteikums izpildās).}$$

Ignorējot ass spēku (šķēlumam nav pielikts ass spēks) pēc vienādojuma 1.28 nosaka šķēluma bīdes pretestību $V_{Rd,c}$:

$$V_{Rd,c} = (C_{RD,c} \cdot k \cdot \sqrt[3]{(100 \rho_1 \cdot f_{ck})} + k_1 \cdot \sigma_{cp}) b_w \cdot d = 0.12 \cdot 1.375 \cdot (100 \cdot 0.00804 \cdot 35)^{1/3} \cdot 400 \cdot 1425 \cdot 10^{-3} = 286.0 \text{ kN.}$$

$V_{Ed} > V_{Rd,c}$ ($1190 \text{ kN} > 286 \text{ kN}$), tātad nepieciešams bīdes stiegrojums.

2) Nosaka nepieciešamo bīdes stiegrojumu pieņemot, vertikālu šķērsspēku uzņemošo stiegrojumu (1.15.att. (a)) (vertikālas aptveres) un pieņemto betona atgāžņu leņķi $\theta = 45^\circ$ (skat. 1.18.att. modeli).



1.18.att. Aprēķina shēma kopnes veida modelim.

Pieņem, ka bīdes stiegrojuma pretestība tiks izmantota pilnībā, tad stiprības samazinājuma koeficientu v nosaka pēc 1.32. formulas:

$$v_1 = v = 0.6 \left[1 - \frac{f_{ck}}{250} \right] = 0.6 \cdot (1 - 35/250) = 0.516,$$

var tikt pielietota arī lielāka vērtība ($v_1 = 0.75$ - tiltu konstrukcijām), ja stiegrojuma pretestība netiks izmantota pilnībā.

Saskaņā ar 1.35.formulu nosaka $V_{Rd,max}$:

$$V_{Rd,max} = \alpha_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot v_1 \cdot \frac{f_{cd}}{\text{ctg}\theta + \text{tg}\theta} = (1.0 \cdot 400 \cdot 1388.1 \cdot 0.516 \cdot 23.3 \cdot 10^{-3}) / (\text{ctg}45^0 + \text{tg}45^0) = 3337 \text{ kN}.$$

Nosakām nepieciešamo bīdes stiegrojumu, kas uzņemtu V_{Ed} , tādēļ 1.34.formulā $V_{Rd,s}$ nomaina ar V_{Ed} :

$$\frac{A_{sw}}{s} \geq \frac{V_{Ed}}{z \cdot f_{ywd} \text{ctg}\theta} = (1190 \cdot 10^3) / (1388.1 \cdot 434.8 \cdot \text{ctg}45^0) = 1.927 \text{ mm}^2 / \text{mm},$$

pieņemot aptveru soli $s = 200 \text{ mm}$, nosaka aprēķinātā bīdes stiegrojuma šķērsriezuma laukumu $A_{sw} = 1.927 \cdot 200 = 394 \text{ mm}^2$,

1.11.tabula. A_{sw}/s vērtības

Aptveres diame- trs (mm)	Attālums starp aptverēm (mm)										
	85	90	100	125	150	175	200	225	250	275	300
8	1.183	1.118	1.006	0.805	0.671	0.575	0.503	0.447	0.402	0.335	0.335
10	1.847	1.744	1.57	1.256	1.047	0.897	0.785	0.698	0.628	0.571	0.523
12	2.659	2.511	2.26	1.808	1.507	1.291	1.13	1.004	0.904	0.822	0.753
16	4.729	4.467	4.02	3.216	2.68	2.297	2.01	1.787	1.608	1.462	1.34

Izmantojot 1.11.tabulu un pieņemot stiegru diametru $\varnothing 16 \text{ mm}$ un aptveru soli $s = 200 \text{ mm}$, iegūstam $A_{sw}/s = 2.01 \text{ mm}^2/\text{mm}$. Tālāk nosaka aprēķinātā bīdes stiegrojuma šķērsriezuma laukumu $A_{sw} = 2 \cdot \pi \cdot 8^2 = 402 \text{ mm}^2$.

Izmantojot 1.39.formulu nosaka papildus stiepes spēku ΔF_{td} stieptajā stiegrojumā,

$$\Delta F_{td} = 0.5 V_{Ed} (\text{ctg}\theta - \text{ctg}\alpha) = 0.5 \cdot 1190 \cdot (\text{ctg}45^0 + \text{ctg}90^0) = 595 \text{ kN}.$$

Pretestības moments 1.4 m platum šķēlumam (saskaņā ar 1.2.piemērā veiktajiem aprēķiniem) $M_{Rd} = 2765 \text{ kNm}$. Tad piepūļu rezervi stieptajā stiegrojumā nosaka pēc formulas:

$(M_{Rd} - M_{Ed}) / z = (2765 - 1500) / 1388.1 = 911 \text{ kN} > 595 \text{ kN}$. Tas nozīmē, ka piepūļu rezerve garenstiegrojumā ir pietiekoša papildus stiepes spēka uzņemšanai, un papildus stiegrojums nav nepieciešams.

3) Nosaka nepieciešamo bīdes stiegrojumu pieņemot, slīpas šķērsspēku uzņemošās aptveres (1.15.att. (b)) (vertikālas aptveres) ar $\alpha = 45^0$ un pieņemto betona atgāžņu leņķi $\theta = 45^0$ (skat. 1.18.att. modeli).

Saskaņā ar 1.38.formulu nosaka $V_{Rd,max}$:

$$V_{Rd,max} = \alpha_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot v_1 \cdot \frac{f_{cd} (\text{ctg}\theta + \text{ctg}\alpha)}{1 + \text{ctg}^2\theta} = (1.0 \cdot 400 \cdot 1388.1 \cdot 0.516 \cdot 23.3 \cdot 10^{-3} \cdot (\text{ctg}45^0 + \text{ctg}45^0)) / (1 + \text{ctg}^2 45^0) = 6675.6 \text{ kN}.$$

Redzam, ka slīpās aptveres dod ievērojamu pretestības

pieaugumu.

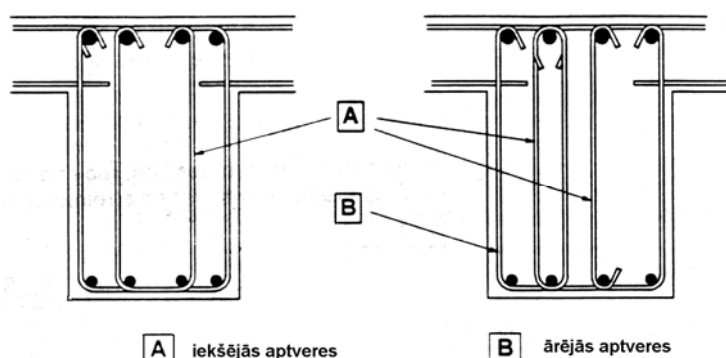
Izmantojot 1.37.formulu (formulā $V_{Rd,s}$ nomaina ar V_{Ed}) nosaka attiecību A_{sw}/s :

$$\frac{A_{sw}}{s} \geq \frac{V_{Ed}}{z \cdot f_{ywd} (\operatorname{ctg} \theta + \operatorname{ctg} \alpha) \sin \alpha} = \frac{(1190 \cdot 10^3)}{(1388.1 \cdot 434.8 \cdot (\operatorname{ctg} 45^\circ + \operatorname{ctg} 45^\circ) \cdot \sin 45^\circ} = 1.394 \text{ mm}^2 / \text{mm},$$

Pieņemam stiegru diametru $\varnothing 16$ mm un aptveru soli $s = 275$ mm, nosaka aprēķinātā bīdes stiegrojuma šķērsriezuma laukumu $A_{sw} = 1.394 \cdot 275 = 383 \text{ mm}^2$. Pieņemam stiegru diametru $\varnothing 16$ mm ar $A_{sw} = 402 \text{ mm}^2$ ar soli 275 mm.

2.4.3 Noteikumi bīdes stiegrojumam

Bīdes stiegrojumu parasti novieto 45° līdz 90° leņķi pret garenstiegrojumu, tas var sastāvēt no aptverēm (1.17.att.) vai salocītām stiegrām.



1.17.att. Bīdes stiegrojuma piemērs

Ap 50% no nepieciešamā bīdes stiegrojuma ir jābūt aptverēm.

Bīdes stiegrojuma attiecību var noteikt ar vienādojumu:

$$\rho_w = \frac{A_{sw}}{s b_w \sin \alpha}, \quad (1.41)$$

kur, A_{sw} - bīdes stiegrojuma šķērsriezuma laukums tā garuma robežās; s - attālums starp bīdes stiegrojuma stieņiem; b_w - elementa platumš; vertikāliem stiegrojuma stieņiem $\alpha = 90^\circ$, t.i. $\sin \alpha = 1$.

Minimālo bīdes stiegrojuma attiecību izsaka ar vienādojumu:

$$\rho_{w,\min} = (0.08 \cdot \sqrt{f_{ck}}) / f_{yk}. \quad (1.42)$$

Maksimālo attālumu starp aptverēm elementa garenvirzienā, nosaka pēc formulas:

$$s_{max} = 0.75 \cdot d \cdot (1 + \operatorname{ctg} \alpha), \quad (1.43)$$

kur α - stiegrojuma slīpuma leņķis.

Maksimālo attālumu starp liekto stiegru slīpajiem elementiem nosaka pēc formulas:

$$s_{max} = 0.6 \cdot d \cdot (1 + \operatorname{ctg} \alpha), \quad (1.44)$$

Attālums starp aptverēm un slīpajām stiegrām elementa šķērsvirzienā nedrīkst pārsniegt:

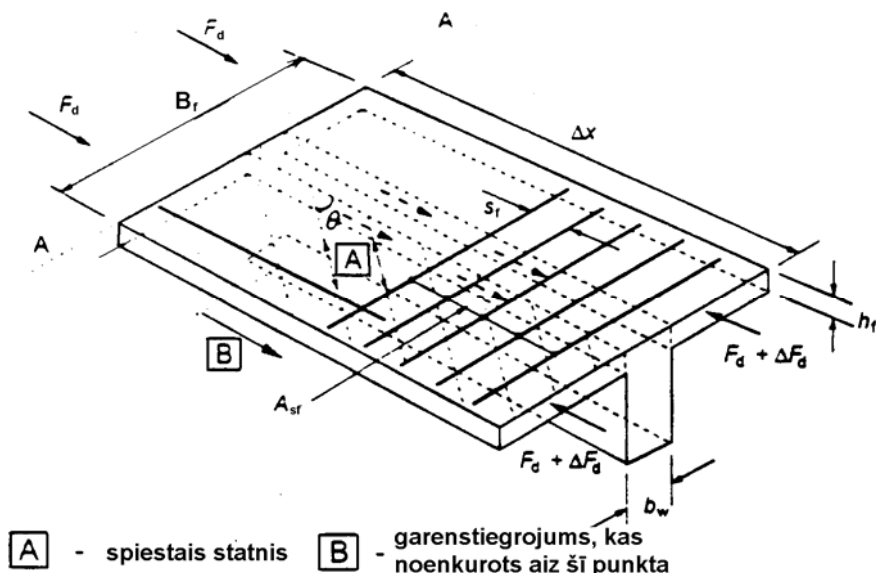
$$s_{max} = 0.7 \cdot d \leq 600 \text{ mm}. \quad (1.45)$$

2.4.4 Bīdes stiprība starp plātni un sienīgu T-veida šķērsriezuma sijai

Plaukta bīdes stiprību var aprēķināt, pieņemot plauktu kā spiestu stieni, kas savienots ar ar sijas sienīgu ar savilcēm šķērsstieģrojuma veidā. Tad garenvirziena bīdes spriegumu V_{Ed} , izteiktu uz garuma vienību plātnes un sienīgas savienojuma vietā var izteikt kā:

$$V_{Ed} = \Delta F_d / (h_f \Delta x), \quad (1.38)$$

kur, Δx – apskatāmā posma garums (skat.1.15.att.) ; ΔF_d – ass spēka izmaiņas apskatāmā posma garumā; h_f – plaukta biezums.



1.15.att. Apzīmējumi plātnes un sienīgas savienojuma modelim

Lielākais posma Δx garums ir attāluma puse starp šķēlumu, kur moments ir ar nulles vērtību un šķēlumu, kur moments ir ar maksimālo vērtību.

Nepieciešamo šķērsstieģrojumu uz garuma vienību var noteikt pēc formulas:

$$(A_{sf} \cdot f_{yd} / s_f) > V_{Ed} / \text{ctg} \theta_f, \quad (1.39)$$

lai novērstu spiesto statņu sabrukumu ir jāizpildās šādam noteikumam:

$$V_{Ed} < v \cdot f_{cd} \cdot \sin \theta_f \cdot \cos \theta_f. \quad (1.40)$$

Aprēķinam var tikt izmantotas šādas θ vērtības:

$$1.0 < \text{ctg} \theta < 2.0 \text{ spiestam plauktam } (45^\circ < \theta < 26.5^\circ)$$

$$1.0 < \text{ctg} \theta < 1.25 \text{ stieptam plauktam } (45^\circ < \theta < 38.6^\circ)$$

Ja bīdes spriegumi savienojumā ir mazāki par $0.4 f_{ctd}$, tad papildus bīdes stieģrojums nav jāparedz.

2.4.4 Bīdes pretestība virsmā starp diviem betona slāņiem

Bīdes spriegumiem, kas rodas jauna un veca betona starpā ir jāapmierina šādus nosacījumus:

$$V_{Edi} \leq V_{Rci}, \quad (1.41)$$

kur,

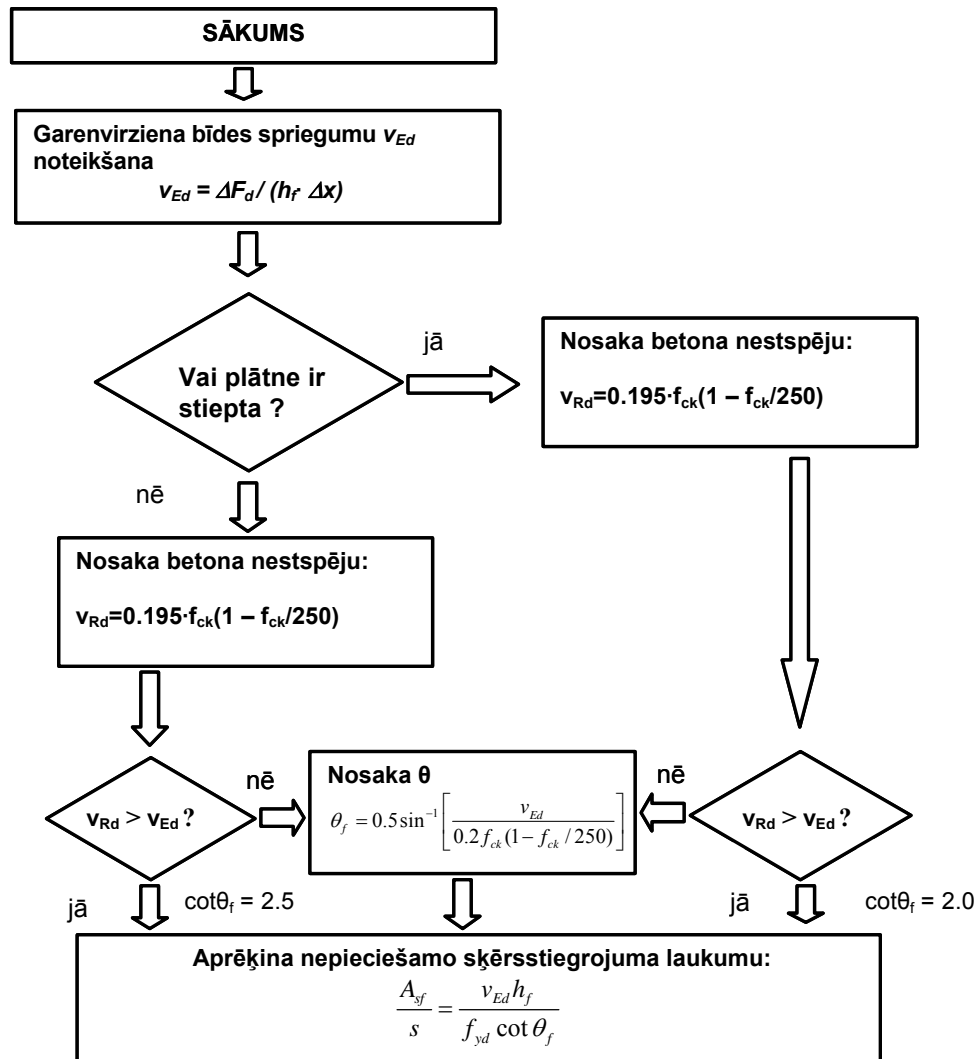
$$V_{Edi} = \beta \cdot V_{Ed} / (z \cdot b_i), \quad (1.42)$$

V_{Edi} – bīdes spriegumu aprēķina vērtība savienojuma virsmā; β - ass spēka jaunajā betonā attiecība pret kopējo ass spēku šķēlumā (M_{Ed} / z); V_{Ed} – šķērsspēks; z – spēka plecs apvienotajā šķēlumā; b_i – savienojuma platums (1.17.att.); V_{Rdi} – aprēķina bīdes pretestība savienojuma vietā:

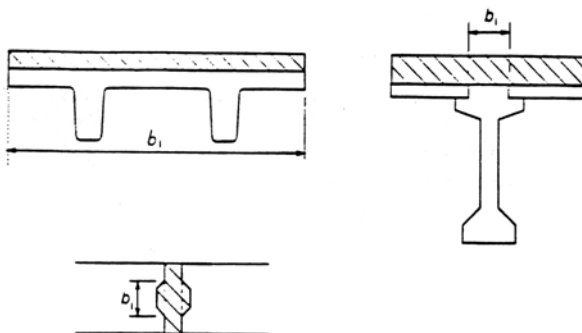
$$V_{Rdi} = c \cdot f_{ctd} + \mu \cdot \sigma_n + \rho \cdot f_{yd} (\mu \cdot \sin \alpha + \cos \alpha) \leq 0.5 \cdot v \cdot f_{cd}, \quad (1.43)$$

kur, f_{ctd} – vājākā betona stiepes pretestība; σ_n – spriegums uz laukuma vienību no pieliktās slodzes

(+) – spiedei, (-) – stiepei, lielākie $\sigma_n < 0.6 \cdot f_{cd}$; $\rho = A_s / A_i$; A_s – savienojuma vietu šķērsojošā stiegrojuma šķērsgriezuma laukums; A_i – savienojuma laukums; α - stiegrojuma leņķis, skat. shēmu 1.18.att..



1.16.att. Blokslēma plaukta bīdes stiprības aprēķināšanai

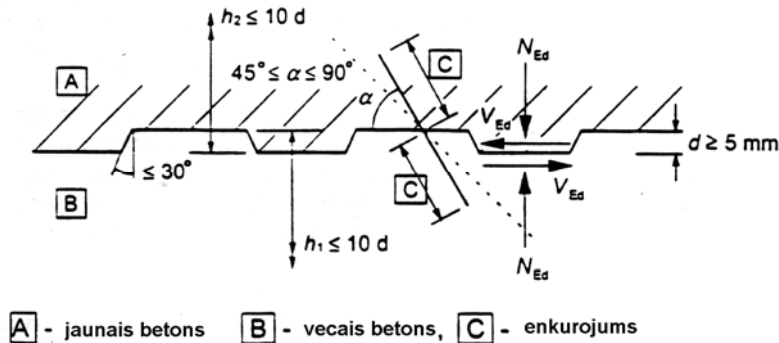


1.17.att. Savienojuma vietu platuma noteikšanas piemēri

Savienojuma vietu virsmas klasificē: ļoti gluda, gluda, raupja, rievota pēc šādiem kritērijiem:

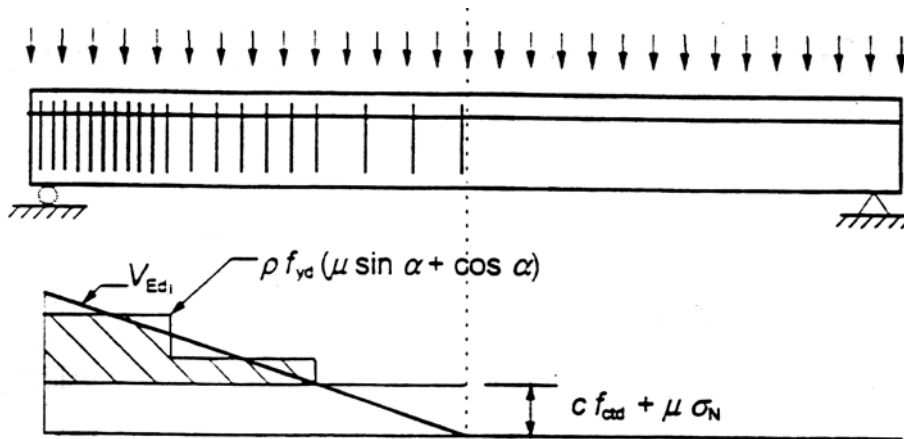
- Ļoti gluda – virsma, kas iegūta izmantojot tērauda, plastikāta vai ēvelēta koka veidņus: $c = 0.025$ un $\mu = 0.5$;
- Gluda – virsma, kas iegūta to slīpējot vai virsma bez tālākas apstrādes: $c = 0.35$ un $\mu = 0.6$;

- Raupja – virsma, kurai ir vismaz 3 mm augsti izciļņi apmēram 40 mm attālumā viens no otra: $c = 0.45$ un $\mu = 0.7$;
- Rievota – virsma, kas izveidota līdzīgi 2.24.att. dotajai shēmai: $c = 0.50$ un $\mu = 0.9$.



1.18.att. Savienojuma šuves shēma

Nepieciešamā savienojuma stieģrojuma sadalījums sijas garenvirzienā dots 1.19.att..



1.19.att. Nepieciešamā bīdes stieģrojuma sadalījuma diagramma

1.2.5 Liektu elementu projektēšana pēc lietojamības robežstāvokļiem

Liektu elementu aprēķins pēc lietojamības robežstāvokļiem ietver :

- Spriegumu ierobežošanu;
- Plaisu regulēšanu;
- Izlieces regulēšanu.

1.2.5.1 Spriegumu ierobežošana

Spiedes spriegumi betonā ir jāierobežo, lai izvairītos no garenvirziena plaisām, mikroplaisām vai augstiem šķūdes līmeņiem, kas nepieļaujami var ietekmēt konstrukcijas funkcionalitāti.

Var būt lietderīgi ierobežot spiedes spriegumu līdz vērtībai $k_1 f_{ck}$ zonās, kas pakļautas vides iedarbībai XD, XF un XS klasēm (skat. 1.5.tabulu). Rekomendējamā k_1 vērtība ir 0.6.

Var pieņemt, ka nepieļaujama plaisāšana vai deformēšanās būs novērsta, ja pie raksturīgās slodžu kombinācijas stiepes spriegums stieģrojumā nepārsniegs $k_3 f_{yk}$. Ja spriegumu rada lietderīgā deformācija, stiepes spriegums nedrīkst pārsniegt $k_4 f_{yk}$. Spriegumu vidējā vērtība spriegojamajā stieģrojuma elementā nedrīkst pārsniegt $k_5 f_{pk}$. Rekomendējamās vērtības k_3 , k_4 , k_5 ir atbilstoši 0.8, 1.0, 0.75.

1.2.5.2 Plaisu regulēšana

Betona plaisāšana ir jāierobežo līdz līmenim, kas nepasliktina konstrukcijas pareizu funkcionēšanu vai ilgziturbu, vai nebojā būves izskatu.

Plaisāšana ir normāla parādība dzelzsbetona konstrukcijās, kas pakļautas liecei, bīdei, vērpei vai stiepei.

Nemot vērā paredzēto konstrukciju funkciju un veidu ir noteikts plaisu aprēķina ierobežojošais platums w_{max} un tās dotas 1.12.tabulā.

1.12.tabula. Rekomendējamās w_{max} vērtības tiltu konstrukcijām

Iedarbības klase	Stiegti elementi un iepriekš saspiesti elementi ar spriegojamā stiegrojuma elementiem bez saistes	Iepriekš saspiesti elementi ar spriegojamā stiegrojuma elementiem ar saisti
	Kvazi-pastāvīga slodze kombinācija	Biežāk sastopamā slodzes kombinācija
X0, XC1	0,3 ¹	0,2
XC2, XC3, XC4	0,3	0,2 ²
XD1, XD2, XS1, XS2, XS3		Spiediena pazemināšana
<p>1. PIEZĪME. X0, XC1 iedarbības klasēm plaisu platumam nav ietekme uz ilgziturbu un dotais robežplatums ir noteikts, lai garantētu pieļaujamo ārējo izskatu. Gadījumā, kad nav ārējā izskata nosacījumu, var samazināt prasības šim robežplatumam.</p> <p>2. PIEZĪME. Šīm iedarbības klasēm papildus ir jāpārbauda spiediena pazemināšana pie kvazi-pastāvīgas slodžu kombinācijas.</p>		

Lai kontrolētu plaisu platumu ir jānosaka minimālais nepieciešamais stiegrojuma laukums šķēlumā. Tādiem šķēsgriezumiem, kā T-veida vai kastveida, minimālais stiegrojums jānosaka šķēluma atsevišķām daļām.

$$A_{s,min} \sigma_s = k_c \cdot k \cdot f_{ct,eff} \cdot A_{ct},$$

kur, $A_{s,min}$ – stiegrojuma minimālais laukums stiepes zonā; A_{ct} – betona laukums stiepes zonā; σ_s – pieļaujamā maksimālā sprieguma stiegrojumā absolūtā vērtība tieši pēc plaisas izveidošanās; $f_{ct,eff}$ – betona stiepes stiprības vidējā vērtība laika momentā, kad var sagaidīt pirmās plaisas parādīšanos $f_{ct,eff} = f_{ctm}$ vai mazāka, ja plaisāšana ir sagaidāma agrāk, kā pēc 28 dienām; k – koeficients, kas ievēro nevienmērīgo pašlīdzsvarojošo spriegumu efektu, kas noved pie pie iespīlējuma spēku samazināšanās; k_c – koeficients, kas ņem vērā spriegumu sadalījumu šķēlumā tieši pirms plaisāšanas.

Plaisu platuma regulēšanu var veikt bez tiešiem aprēķiniem izmantojot 1.13. un 1.14.tabulā dotos norādījumus.

1.13.tabula. Maksimālie stiegru diametri \varnothing plaisu regulēšanai

Spriegums stiegrojumā ² [MPa]	Maksimālais stiegru izmērs [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	-

1.14.tabula. Maksimālais stiegru solis plaisu regulēšanai

Spriegums stiegrojumā ² [MPa]	Maksimālais stiegru izmērs [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	–

1.2.5.3 Deformācijas

Elementu vai konstrukcijas deformācijas nedrīkst kaitīgi ietekmēt to pareizu funkcionēšanu vai ārējo izskatu.

Aprēķinātajam sijas, plātnes vai konsoles ieliekumam no dažādām pastāvīgajām slodzēm nedrīkst pārsniegt 1/250 daļu no laiduma garuma.

Elementu izlieces pēc uzbūvēšanas (no ekspluatācijas slodzēm) nedrīkst pārsniegt 1/500 daļu no laiduma garuma.

Literatūras saraksts

1. Hendy C.R., Smith D.A., Designers' Guide to EN 1992-2. Eurocode 2: Design of concrete structures. Part 2: Concrete bridges, Thomasthelford, 2007, 378 p.
2. Moss R.M., Brooker O. How to design concrete structures using Eurocode2. 4. Beams. 2006, www.eurocode2.net