

Rīgas Tehniskās universitātes
Būvniecības fakultāte
Civilo ēku būvniecības katedra

Dzelzsbetona konstrukciju pamatkurss

Studiju darbs Steigrbetona un mūra konstrukcijas

Izpildīja: Kristaps Kuzņecovs

Stud. apl. Nr. 081RBC049

III RBCB03

Paraksts: _____

Pieņēma: V.Mitrofanovs

Atzīme: _____

Paraksts: _____

Studiju projekta uzdevums:

Izstrādāt monolītā dzelzsbetona starpstāvu pārseguma, kolonnas un tās pamata konstrukciju projektu daudzstāvu ēkai ar nepilnu karkasu un pagrabstāvu.

Veikt dimensionēšanu un nepieciešamās pārbaudes:

- monolītam ribotam (sijveida) starpstāvu pārsegumam (plātnei, palīgsijai un galvenajai sijai);
- pagrabstāva kolonnai un tās pamatam;
- stāva ārējai mūra garensienai un pagrabstāva sienai.

Projekta izejas dati

1. Ēkas izmēri plānā (pa asīm) – garums $L = 48\text{ m}$, platums $B = 26\text{ m}$.
2. Virszemes stāvu skaits $n = 5$.
3. Stāvu augstums $H = 4,5\text{ m}$.
4. Ēkas ārpusē nesošās sienas – mūris (*kalcija silikāta ķieģeļi*), bet ēkas iekšpusē starpstāvu pārsegumi balstās uz monolītā dzelzsbetona kolonnām.
5. Jumta konstrukcija balstās tikai uz mūra ārsienām bez starpbalstiem (nav kolonnu).
6. Raksturīgā lietderīgā slodze uz starpstāvu pārsegumiem $q_k = 4,1\text{ kPa}$.
7. Celtniecības vieta – *Nereta*.
8. Grunts aprēķina pretestība $R_0 = 0,43\text{ MPa}$.
9. Betona klase *C20/25*.
10. Nespriegtā darba stiegrojuma tērauda klase *B300*.
11. Apkārtējās vides iedarbības klase *X0*.
12. Konstrukciju klase *S4*.
13. Pārseguma grīdas un sienu „pīrāgu” konstrukciju izvēlas projektētājs.
14. Stiegrojums ar atsevišķām stiegrām.

Darba saturs:

1. Paskaidrojuma raksts ar nesošo elementu aprēķinu un izmantotās literatūras sarakstu.
2. Darba zīmējumi: jumta un viens starpstāvu pārseguma plāns; ēkas raksturīgais šķērs griezumums; atbilstošie starpstāvu pārseguma nesošie elementi, kolonna un tās pamats.
3. Materiālu (betona un stiegrojuma) specifikācijas.

Saturs

1. Starpstāvu pārsegums	5
1.1. Dzelzsbetona plātnes biezums	5
1.1.1. Stiegrojuma aizsargslānis	5
1.1.2. Biezums.....	5
1.2. Dzelzsbetona plātnes stiegrojums	6
1.2.1. Slodzes	6
1.2.2. Piepūles	6
1.2.3. Lieces stiegrojums	8
1.2.4. Šķērsstiegrojums	10
1.2.5. Lietojamības robežstāvokļi	11
1.3. Palīgsijas	13
1.3.1. Konstruktijas kalpošanas laiks.....	13
1.3.2. Iedarbojošās slodzes.....	13
1.3.3. Slodžu kategorijas.....	13
1.3.4. Slodžu kombinācijas	14
1.3.5. Materiāla un apkārtējās vides īpašības	14
1.3.6. Ugunsturības klase	14
1.3.7. Sijas aizsargslānis.....	14
1.3.8. Piepūles	14
1.3.9. Lieces stiegrojums	16
1.3.10. Šķērsstiegrojums	18
1.3.11. Izmantojamo aptveru skice	19
1.3.12. Lietojamības robežstāvoklis.....	19
1.4. Galvenā sija.....	24
1.4.1. Sijas aizsargslānis.....	24
1.4.2. Piepūles	24
1.4.3. Lieces stiegrojums	26
1.4.4. Šķērsstiegrojums	28
1.4.5. Izmantojamo aptveru skice	29
1.4.6. Lietojamības robežstāvoklis.....	30
2. Kolonnas	32
2.1. Slodzes	32
2.2. Piepūles	32
2.3. Ugunsdrošības klase un aizsargslānis	33
2.4. Kolonnas momentu korekcija.....	33
2.5. Kolonnas slaidums (lokanums)	34
2.6. Kolonnas stiegrojums	35
2.6.1. Analītiskais aprēķins	35
2.6.1. Grafiskais aprēķins.....	35
3. Pamatu konstrukcijas	37
3.1. Pamatu pēdas raksturlielumi.....	37
3.2. Pamatu pēdas izmēri	37
3.3. Grunts spiediens zem pamatu pēdas	37
3.4. Pamatu pēdas biezums.....	38
3.5. Pamatu pēdas šķērsspēka pārbaude	38
3.6. Pamatu pēdas stiegrojums	38
3.6.1. Spiestā stiegrojuma nepieciešamības pārbaude	38
3.6.2. Stiegrojuma šķērsriezuma laukums.....	39
3.6.3. Plaisu regulēšana.....	39
3.6.4. Stiegrojuma noteikšana.....	39
3.7. Pamatu pēdas caurspiešana	40

4. Mūris.....	41
4.1. Virszemes mūra sienas aprēķins.....	41
4.1.1. Jumta konstrukcijas slodzes	41
4.1.2. Vertikālās slodzes noteikšana uz mūri 1. stāva līmenī	42
4.1.3. Lieces momentu noteikšana mūra raksturīgajos šķēlumos	43
4.1.4. Mūra sienas nestspējas aprēķins.....	43
4.2. Pagrabstāva mūra sienas aprēķins	45
Izmantotās literatūras saraksts	47
Grafiskā daļa	48

1. Starpstāvu pārsegums

1.1. Dzelzsbetona plātnes biezums

1.1.1. Stiegrojuma aizsargslānis

Betona aizsargslānis ir attālums starp vistuvākā betona virsmi stiegrojuma virsmu līdz tuvākai betona virsmi (ietverot savienotājstiegras, slēgtās aptveres un virsmas stiegroju, kur piemērojami). Normālajam aizsargslāņa biezumam ir jābūt noteiktam rasējumos. Normālo aizsargslāņa biezumu c_{nom} definē kā c_{min} , plus, projekta novirzes pielāide Δc_{dev} .

Dzelzsbetona elementa aizsargslāni nosaka pēc LVS EN 1992-1-1 4. nodaļas.

Minimālais aizsargslāņa biezums tiek aprēķināts, izmantojot formulu (4.2):

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

$c_{min,b}$ – minimālais aizsargslānis sakarā ar sasaistes prasībām. Atsevišķām stiegrām pieņem kā to diametru, tāpēc

$$c_{min,b} = 10 \text{ mm};$$

$c_{min,dur}$ – minimālais aizsargslānis pret apkārtējās vides iedarbību. Dotajā gadījumā apkārtējās vides iedarbības klase ir X0, kuras gadījumā nepastāv korozija vai tās iedarbības risks, bet konstrukciju klase S4. No tabulas 4.3 N tiek izvēlēti konstrukciju klasi ietekmējoši kritēriji. Tā kā šajā gadījumā tiek projektēts elements ar plātnes ģeometriju, tad klasi iespējams samazināt par 1, iegūstot S3 un $c_{min,dur} = 10 \text{ mm}$;

$\Delta c_{dur,\gamma}$ – papildus drošuma elements. Valstī lietojamo vērtību var atrast Nacionālajā pielikumā. Rekomendējamā vērtība $\Delta c_{dur,\gamma} = 0 \text{ mm}$;

$\Delta c_{dur,st}$ – minimālais aizsargslāņa biezuma samazinājums nerūsējošā tērauda lietošanas gadījumā. Valstī lietojamo vērtību var atrast Nacionālajā pielikumā. Rekomendējamā vērtība bez papildus specifikācijas $\Delta c_{dur,st} = 0 \text{ mm}$;

$\Delta c_{dur,add}$ – minimālā aizsargslāņa biezuma samazinājums papildus aizsardzības izmantošanas gadījumā. Valstī lietojamo vērtību var atrast Nacionālajā pielikumā. Rekomendējamā vērtība bez papildus specifikācijas rekomendējamā vērtība ir $\Delta c_{dur,add} = 0 \text{ mm}$.

$$c_{min} = \max\{10; 10 + 0 - 0 - 0; 10\} = 10 \text{ mm}$$

Dzelzsbetona elementa nominālo aizsargslāni nosaka pēc formulas:

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev} = 10 + 10 = 20 \text{ mm}$$

Δc_{dev} – projekta novirzes pielāide. Valstī lietojamo vērtību var atrast Nacionālajā pielikumā. Rekomendējamā vērtība ir $\Delta c_{dev} = 10 \text{ mm}$.

Dzelzsbetona nominālais aizsargslāņa biezums ir 20 mm.

1.1.2. Biezums

Dzelzsbetona plātnei nosaka darbīgo un faktisko biezumu. No grāmatas „How to design concrete structure using Eurocode 2” (21. lpp., Figure 5) tiek aprēķināta laiduma un biezuma (l/d) robežattiecība, izejot no betona klases garantētās spiedes stiprības cilindram ($f_{ck} = 20 \text{ MPa}$) un stiegrojuma pieņemtās intensitātes plātnes vidū stieptajā zonā ($\rho = 0,35\%$).

$$\rho = 0,35\%, \rho_0 = \frac{\sqrt{f_{ck}}}{1000} = \frac{\sqrt{20}}{1000} = 0,447\%$$

Tā kā $\rho < \rho_0$, tad laiduma un biezuma robežattiecību nosaka pēc formulas:

$$\frac{l}{d} = K \left(11 + \frac{1,5\sqrt{f_{ck}}\rho_0}{\rho} + 3,2\sqrt{f_{ck}} \left(\frac{\rho_0}{\rho} - 1 \right)^{1,5} \right), \text{ kur}$$

K – faktors, kas ievērtē dažādu konstrukcijas stāvokļus koeficients. Malējām plātnēm ir 1,3, bet vidējām 1,5;

f_{ck} – garantētās spiedes stiprības cilindram $f_{ck} = 20 \text{ MPa}$;

ρ_0 – rekomendējamā stiegrojuma attiecība $\rho_0 = 0,447\%$;

ρ – pieņemtā stiegrojuma intensitāte plātnes vidū stieptajā zonā $\rho = 0,35\%$.

Malējo plātņu darbīgais biezums:

$$\frac{2000}{d_{min}} = 1,3 \left(11 + \frac{1,5\sqrt{20} \cdot 0,447}{0,35} + 3,2\sqrt{20} \left(\frac{0,447}{0,35} - 1 \right)^{1,5} \right) \Rightarrow \frac{2000}{d_{min}} = 28,15 \Rightarrow d_{min} = 71,04 \text{ mm}$$

Vidējo plātņu darbīgais biezums:

$$\frac{2000}{d_{min}} = 1,5 \left(11 + \frac{1,5\sqrt{20} \cdot 0,447}{0,35} + 3,2\sqrt{20} \left(\frac{0,447}{0,35} - 1 \right)^{1,5} \right) \Rightarrow \frac{2000}{d_{min}} = 32,48 \Rightarrow d_{min} = 61,57 \text{ mm}$$

Tā kā reālos apstākļos faktisko biezumu pieņem pēc biežākās plātnes, tad tālākiem aprēķiniem izmanto 71,04 mm.

Plātnes faktiskais biezums:

$$d_{fakt} = d_{min} + \frac{\emptyset}{2} + c_{nom} = 71,04 + \frac{10}{2} + 20 \approx 100 \text{ mm, kur}$$

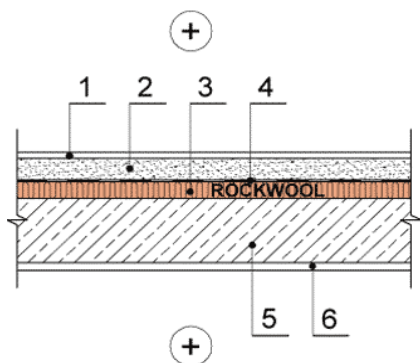
\emptyset - stiegru diametrs, c_{nom} – betona aizsargslānis.

Plātnes faktiskais biezums ir 100 mm.

1.2. Dzelzsbetona plātnes stiegrojums

1.2.1. Slodzes

Lai noteiktu visas patstāvīgās slodzes nepieciešams izvēlēties starpstāvu pārseguma „pīrāgu”. Tālākai darbībai izvēlos „Rockwool” piedāvāto pārsegumu sistēmu, kas sastāv no:



- 1 – grīdas seguma (ozolkoka parkets (20 mm) ar mīkstinošo slāni);
- 2 – izlīdzinošās betona kārtas (40 mm);
- 3 – „Rockwool” akmens vates *Steprock ND* (30 mm);
- 4 – hidroizolācijas (0,2mm);
- 5 – monolītā dzelzsbetona pārseguma plātnes (100 mm);
- 6 – griestu dekoratīvā apmetuma (10 mm).

Pastāvīgo slodzi no šīs sistēmas aprēķina pēc formulas:

$$d_{gr} \cdot \rho_{gr} + d_{izlīdz} \cdot \rho_{cem} + d_{akm} \cdot \rho_{akm}$$

Izmantotā parketa blīvums $\rho_{gr} = 750 \text{ kg/m}^3$, akmens vates blīvums $\rho_{akm} = 120 \text{ kg/m}^3$, bet cementa blīvums $\rho_{cem} = 2500 \text{ kg/m}^3$. Tā kā mīkstinošā slāņa, hidroizolācijas un griestu dekoratīvā apmetuma blīvumi ir relatīvi mazi, tad tos neņem vērā aprēķinot patstāvīgās slodzes.

$$0,020 \cdot 750 + 0,040 \cdot 2500 + 0,030 \cdot 120 = 118,6 \text{ kg/m}^2 \approx 1,19 \text{ kN/m}^2$$

Pašvara slodze no dzelzsbetona plātnes:

$$d_{fakt} \cdot \rho_{cem} = 0,100 \cdot 2500 = 250 \text{ kg/m}^2 = 2,50 \text{ kN/m}^2$$

Slodžu tabula

Nr. p.k.	Virsmas slodzi veidojošās sastāvdaļas	Slodzes raksturīgā vērtība (kN/m^2)	Slodzes drošuma koeficients, γ_f	Slodzes aprēķina vērtība (kN/m^2)
1.	Pašsvars	2,5	1,35	3,375
2.	Pastāvīgā slodze	1,19	1,35	1,607
3.	Lietderīgā slodze	4,1	1,5	6,150

Pastāvīgo virsmas slodžu vērtība: $g_d = 3,375 + 1,607 = 4,442 \text{ kN/m}^2$

Lietderīgo slodžu vērtība: $p_d = 6,150 \text{ kN/m}^2$

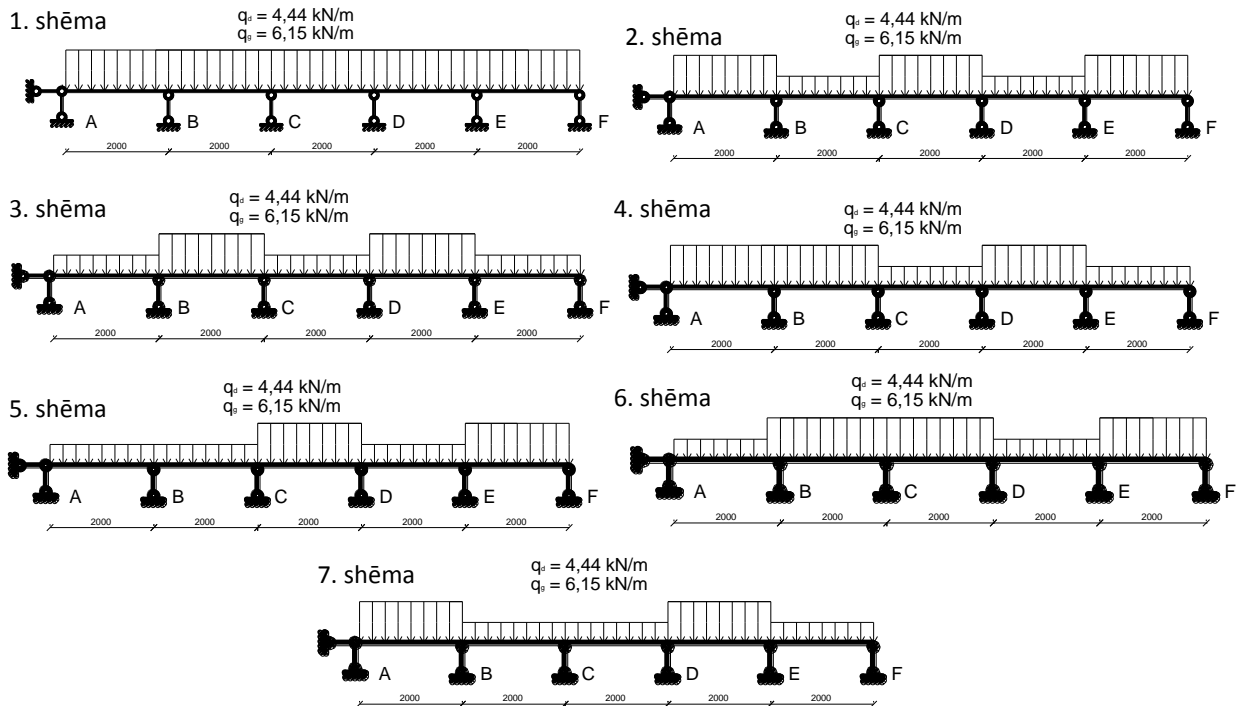
Pastāvīgā lineārā slodze: $q_d = g_d \cdot l = 4,442 \text{ kN/m}^2 \cdot 1 \text{ m} = 4,442 \text{ kN/m}$

Lietderīgā lineārā slodze: $q_g = p_d \cdot l = 6,150 \text{ kN/m}^2 \cdot 1 \text{ m} = 6,15 \text{ kN/m}$

1.2.2. Piepūles

Aprēķinam tiek izmantota sija ar piecu laidumu shēma, jo lielāks laidumu skaits būtiski neietekmē maksimālās piepūles vērtības. Tabulas sastādīšanai izmantoju K.Gaiļa grāmatu „Celtnieka rokasgrāmata būvmehānikā”, kurā ir atrodama informācija par maksimālajām piepūlēm raksturīgajā šķēlumā, un galīgo elementu aprēķinu programmu „AxisVM10”, ar kuru nosaku piepūļu vērtības pie dotajām slodzēm.

Slodžu shēmas:



Lieces momenta vērtību tabula

Shēma Nr.	M_{11} , kN·m	M_{21} , kN·m	M_{31} , kN·m	M_{41} , kN·m	M_{51} , kN·m	M_B , kN·m	M_C , kN·m	M_D , kN·m	M_E , kN·m
1.	3,300	1,394	1,951	1,394	3,300	-4,460	-3,345	-3,345 ^{max}	-4,460 ^{max}
2.	3,818 ^{max}	-0,548 ^{min}	2,922 ^{max}	-0,548 ^{min}	3,818 ^{max}	-3,165	-2,374	-2,374	-3,165
3.	0,916 ^{min}	2,527 ^{max}	-0,153 ^{min}	2,527 ^{max}	0,916 ^{min}	-3,165	-2,374	-2,374	-3,165
4.	3,159	2,000	0,009	2,482	0,925	-4,813 ^{max}	-1,932	-2,491	-3,136
5.	1,525	0,096	2,760	-0,499	3,806	-1,517 ^{min}	-2,815	-2,256	-3,194
6.	1,049	1,864	2,287	-0,323	3,771	-2,724	-4,139 ^{max}	-1,903 ^{min}	-3,283
7.	3,642	0,358	0,629	2,350	0,951	-3,606	-0,608 ^{min}	-2,845	-3,047 ^{min}

Piezīme: Lieces momenti apzīmēti ar cipariem, no kuriem pirmais norāda laiduma kārtas numuru.

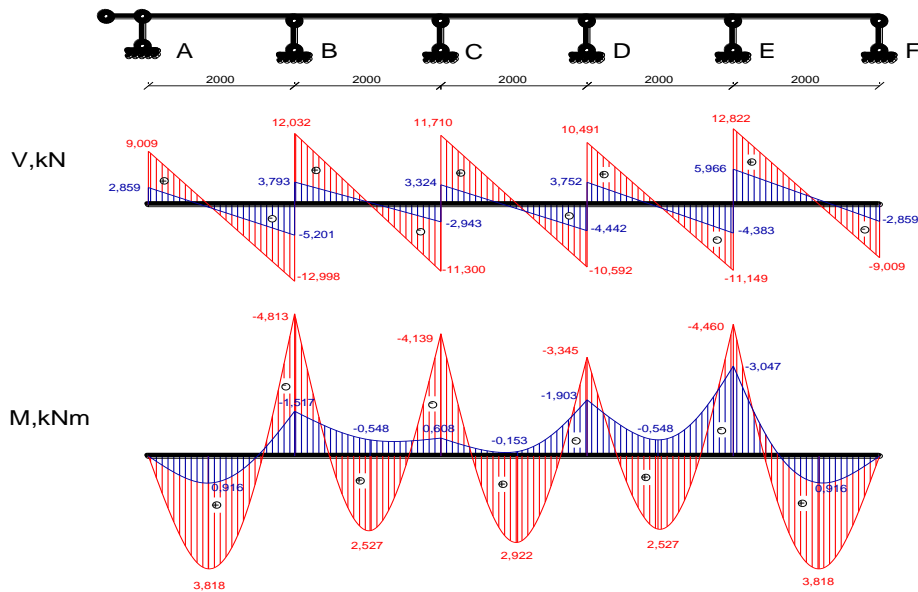
Lieces momentu vērtības M_{11} un M_{51} atrodas aptuveni 0,8 m attālumā no malējiem balstiem.

Lieces momenti M_{21} , M_{31} un M_{41} atrodas laidumu vidū.

Šķērsspēka vērtību tabula

Shēma Nr.	V_A , kN	V_B , kN	V_C , kN	V_D , kN	V_E , kN	V_F , kN
1.	8,362	-12,822 11,149	-10,035 10,592	-10,592 ^{max} 10,035	-11,149 ^{max} 12,822 ^{max}	-8,362
2.	9,009 ^{max}	-12,175 4,838	-4,046 10,592	-10,592 4,046	-4,838 ^{min} 12,175	-9,009 ^{max}
3.	2,859 ^{min}	-6,025 10,988	-10,196 4,442	-4,442 ^{min} 10,196	-10,988 6,025	-2,859 ^{min}
4.	8,186	-12,998 ^{max} 12,032 ^{max}	-9,152 4,162	-4,722 10,270	-10,914 6,010	-2,874
5.	3,693	-5,201 ^{min} 3,793 ^{min}	-5,091 10,872	-10,312 3,973	-4,911 12,189	-8,995
6.	3,080	-5,804 9,884	-11,300 ^{max} 11,710 ^{max}	-9,474 3,752 ^{min}	-5,132 12,233	-8,951
7.	8,789	-12,395 5,941	-2,943 ^{min} 3,324 ^{min}	-5,560 10,491 ^{max}	-10,693 5,966 ^{min}	-2,918

Aptvērējepīra no iegūtajām maksimālajām piepūļu vērtībām



Elastīgajā stadijā lielākais lieces moments $M_{Ed} = 4,813 \text{ kN}\cdot\text{m}$ un šķērsspēks $V_{Ed} = 25,030 \text{ kN}$. Pēc epīrām ir redzams, ka pastāv gadījumi, kad, slogojot plātnes ar lietderīgo slodzi, to augšējā daļā veidojas stiepe, tāpēc tiek veikta pārbaude uz betona stiepes stiprību liecē:

$$f_{ctm,fl} = \max\{(1,6h/1000)f_{ctm}; f_{ctm}\} = \max\{106/1000 \cdot 2,21; 2,21\} = 2,21 \text{ MPa}$$

h – pilnais elementa biezums (augstums) (mm);

f_{ctm} – vidējā aksiālā stiepes stiprība no LVS 1992-1-1 3.1 tabulas.

Momentu radītais stiepes spriegums tiek aprēķināts pēc formulas: $\sigma = \frac{M}{W} = 546/(1000 \cdot 100^2/6) = 0,34 \text{ kP}$

Tātad augšējā joslā stiegrojums nav nepieciešams.

1.2.3. Lieces stiegrojums

Stiegrojuma daudzumu un stiegru izmērus nosaka izmantojot LVS EN 1992-1-1 un grāmatu „How to design concrete structures using Eurocode 2”.

Vispirms aprēķina stiegrojuma stiepes aprēķinu pretestību, izmantojot formulu: $f_{yd} = f_{yk}/\gamma_c$, kur

f_{yd} – stiegrojuma stiepes aprēķina pretestība;

f_{yk} – stiepes stiegrojuma normatīvā pretestība;

$\gamma_c = 1,15$ (LVS EN 1992-1-1:2005, Tabula 2.1.N).

$$f_{yd} = \frac{300}{1,15} = 260 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

AB laiduma spiestā stiegrojuma nepieciešamības pārbaude

Pēc grāmatas „How to design concrete structures using Eurocode 2, 19.lpp.” nosaka konstrukciju ietekmējošā faktora k vērtību: $k = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{ck}}$, kur

M_{Ed} – maksimālā lieces momenta vērtība dotajā laidumā, $M_{Ed} = 3,818 \text{ kN}\cdot\text{m}$;

b – plātnes aprēķina platums, $b = 1 \text{ m}$;

d – plātnes efektīvais biezums, $d = h - (c_{nom} + \varnothing/2) = 75 \text{ mm}$;

f_{ck} – betona cilindra spiedes stiprība, $f_{ck} = 20 \text{ MPa}$.

$$k = \frac{3,818 \cdot 10^3}{1 \cdot 0,075^2 \cdot 20 \cdot 10^6} = 0,034$$

Jāizpildās nosacījumam $k \leq k'$ („How to design concrete structures using Eurocode 2, 19.lpp.”)

$$k' = 0,60\delta - 0,18\delta^2 - 0,21 = 0,60 - 0,18 - 0,21 = 0,21, \text{ kur}$$

k – pārslāides koeficients, δ – pārslāides attiecība, kuru pieņem kā 1.

Tā kā $k = 0,034$, bet $k' = 0,21$, tad stiegrojums spiestajā zonā nav nepieciešams.

AB laiduma šķērsriezuma stiegrojuma laukums stieptajā zonā

Vispirms pēc grāmatas „How to design concrete structures using Eurocode 2”, 19.lpp. 5. tabulas tiek noteikts iekšējais spēku pāra plecs, kas atkarīgs no k vērtības.

$$z/d = 0,95 \Rightarrow z = d \cdot 0,95 = 75 \cdot 0,95 = 71,25 \text{ (mm)}$$

Tālāk aprēķina nepieciešamo stiegrojuma laukumu.

$$A_s^{req} = \frac{M_{Ed}}{f_{yd} \cdot z} = \frac{3,818 \cdot 10^6}{260 \cdot 71,25} = 206 \text{ (mm}^2\text{)}$$

Grāmatas „Design of concrete structure in EC 2”, 394. lpp. A. 1 tabulā atrodu nepieciešamo stieņu skaitu pie $\varnothing = 6 \text{ mm}$.

Nepieciešamas 8 stiegras, kas nodrošina stiegrojuma laukumu $A_{s,prov} = 226 \text{ mm}^2$.

Nosacījumi $A_{s,prov} \geq A_s^{req}$ un $S \leq 250 \text{ (mm)}$ izpildās.

8H6@125

Stiegrojuma pārbaude

$$A_{s,min} \leq A_{s,prov} \leq A_{s,max}$$

Minimālais pieļaujamo stiegrojuma šķērsriezuma laukums tiek aprēķināts pēc LVS EN 1992-1-1:2005

9.2.1.1. dotās formulas: $A_{s,min} = \frac{0,26 \cdot f_{ctm} \cdot b \cdot d}{f_{yk}}$, kur

f_{ctm} – aksiālās stiepes stiprības vidējā vērtība, $f_{ctm} = 0,3 \cdot f_{ck}^{(2/3)} = 2,21 \text{ MPa}$, pēc LVS EN 1992-1-1/3.1. tabulas.

$$A_{s,min} = \frac{0,26 \cdot 2,21 \cdot 1000 \cdot 77}{300} = 147,48 \text{ (mm}^2\text{)}$$

Maksimāli pieļaujamo laukumu aprēķina pēc grāmatas „How to design concrete structures using Eurocode 2”, 19. lpp, vispirms nosakot betona šķērsriezuma laukumu.

$$A_c = b \cdot h = 1000 \text{ (mm)} \cdot 100 \text{ (mm)} = 100000 \text{ (mm}^2\text{)}$$

$$A_{s,max} = 0,04 \cdot A_c = 0,04 \cdot 100000 = 4000 \text{ (mm}^2\text{)}$$

$$A_{s,min} = 147,48 \text{ (mm}^2\text{)} < A_{s,prov} = 226 \text{ (mm}^2\text{)} < A_{s,max} = 4000 \text{ (mm}^2\text{)}$$

Sekundārais stiegrojums

$$A_{s,sec} = 0,2 \cdot A_{s,prov} = 45,2 \text{ (mm}^2\text{)} \text{ (LVS EN 1992-1-1:2005 9.3.1.1. (2)P)}$$

No stiegrojuma šķērsriezumu sortimentu tabulas izvēlos stiegru diametru un skaitu, atbilstoši prasībām.

Minimālais stiegru skaits ir 4, lai nodrošinātu konstruktīvos pasākumus, kas saistīti ar stiegru soli.

$\varnothing = 6 \text{ (mm)}$; stiegru skaits = 4; $A_{s,sec}^{prov} = 113 \text{ (mm}^2\text{)}$; $S = 250 \text{ (mm)}$.

Konstruktīvo prasību pārbaude

Galvenais stiegrojums:

$$S = 125 \text{ mm} \leq S_{max} = 2h = 200 \text{ mm}$$

Nosacījumi izpildās

Sekundārais stiegrojums:

$$S = 250 \leq S_{max} = 3h = 300 \text{ mm}$$

Nosacījumi izpildās

Stiegrojuma tabula

Laidums	M_{Ed} kN·m	k	A_s^{req} , mm ²	A_s^{prov} , mm ²	\emptyset , mm	skaits, gab.	solis, mm	$A_{s,sec}^{req}$, mm ²	$A_{s,sec}^{prov}$, mm ²	\emptyset , mm	skaits, gab.	solis, mm
AB	3,818	0,034	206	226	6	8	125	45,2	133	6	4	250
BC	2,527	0,023	138	170	6	6	165	34	133	6	4	250
CD	2,922	0,026	157	170	6	6	165	34	133	6	4	250
DE	2,527	0,022	136	170	6	6	165	34	133	6	4	250
EF	3,818	0,034	206	226	6	8	125	45,2	133	6	4	250
Balsti												
B	4,813	0,043	259	283	6	10	100	56,6	133	6	4	250
C	4,139	0,037	223	226	6	8	125	45,2	133	6	4	250
D	3,345	0,030	180	198	6	7	140	39,6	133	6	4	250
E	4,460	0,040	240	255	6	9	110	51	133	6	4	250

Piezīmes: k' vērtība visos raksturīgajos šķēļumos ir 0,21 un tā kā k ir mazāks par k' , tad stiegrojums spiestajā zonā nav nepieciešams.

Tā kā $z/d < 0,05$ visos gadījumos, tad iekšējais spēka pāra plecs visos šķēļumos ir 71,25 mm.

Minimālais un maksimālais stiegrojuma lakums visos gadījumos paliek nemainīgs, jo visos gadījumos tiek izmantotas stiegras ar $\emptyset 6$ mm, un ir $A_{s,min} = 147,48$, bet $A_{s,max} = 4000$ mm².

Maksimālais solis konstruktīvajam stiegrojumam visos gadījumos ir mazāks par 200 mm, bet sekundārajam stiegrojumam – mazāks par 300 mm.

1.2.4. Šķērssstiegrojums

Šķērsspēka ietekme

Šķērsspēka aprēķinu veic saskaņā ar grāmatu „How to design concrete structures using Eurocode 2”, 21.lpp. Vispirms nosaka spriegumus, kurus rada šķērsspēks virs A balsta, pēc formulas:

$$v_{Ed} = \frac{V_{Ed}}{bd} = \frac{9009}{1000 \cdot 77} = 0,117 \text{ MPa, kur}$$

V_{Ed} – šķērsspēks dotajā šķēļumā;

b – plātnes aprēķina platums;

d – plātnes darbīgais augstums; $d = h - c - \emptyset/2 = 100 - 20 - 3 = 77$ mm.

Stiegrojuma pretestība šķērsspēkam tiek noteikta izmantojot formulu:

$$V_{Rd,c} = 0,12k(100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} \geq 0,035k^{1,5}f_{ck}^{0,5}, \text{ kur}$$

k – strukturālo shēmu faktors, $k = 1 + \sqrt{200/d} \leq 2 \Rightarrow 1 + \sqrt{200/77} \Rightarrow k = 2$;

ρ_l – ievietotais stiepes stiegrojuma šķērsriezuma laukums pret elementa šķērsriezuma laukumu,

$$\rho_l = (A_s^{prov}/bd) = 226/77 = 0,00294$$

$$V_{Rd,c} = 0,12 \cdot 2 \cdot (100 \cdot 0,00294 \cdot 20)^{1/3} \geq 0,035 \cdot 2^{1,5} \cdot 20^{0,5}$$

$$0,433 \text{ MPa} < 0,443,$$

$$V_{Rd,c} = 0,443 \text{ MPa}$$

Tiek veikta pārbaude, vai šķērsspēka radītie spriegumi ir mazāki par konstrukcijā pieļaujamajiem:

$$\frac{v_{Ed}}{V_{Rd,c}} \leq 1 \Rightarrow \frac{0,117}{0,443} = 0,264$$

Nosacījumi izpildās

Šķērssieģrojuma nepieciešamības tabula

Balsti	Šķērsspēka vērtība, kN	V_{ed} , MPa	A_s^{prov} , mm ²	P_l	$V_{Rd,c}$, MPa	Izmantošana
A	9,009	0,117	226	0,00294	0,443	0,264
B	25,030	0,325	283	0,00368	0,443	0,734
C	23,010	0,299	226	0,00294	0,443	0,675
D	21,083	0,274	198	0,00257	0,443	0,618
E	23,971	0,311	255	0,00331	0,443	0,703
F	9,009	0,117	226	0,00294	0,443	0,264

Piezīmes: darbīgais augstums visos gadījumos ir vienāds, jo izvēlētas stieģras ar vienu diametru – 6mm, un ir 77 mm. Strukturālo shēmu faktors k visos gadījumos = 2.

Tātad šķērssieģrojums dotajos šķērsgriezumos nav nepieciešams.

1.2.5. Lietojamības robežstāvokļi

Plaisu regulēšana

Ja tiek prasīta plaisu regulēšana, ir nepieciešams minimālais sasaistes stieģrojums, lai kontrolētu plaisāšanu zonās, kur ir sagaidāma stieģe. Stieģrojuma apjomu var novērtēt no līdzsvara starp stieģes spēku betonā tieši pirms plaisāšanas un stieģes spēku stieģrojumā pie tecēšanas. Nepieciešamos minimālos stieģrojuma laukumus salīdzina ar konkrētā stieģrojuma laukumiem. Jāpārlicinās, vai konkrētais stieģrojuma šķērsgriezuma laukums, šajā gadījumā laidumā AB, nav mazāks par minimāli nepieciešamo stieģrojuma šķērsgriezuma laukumu:

$$A_{s,min}^{CRC} = \frac{A_s^{prov} \geq A_{s,min}^{CRC}}{k \cdot k_c \cdot f_{ct,eff} \cdot A_{ct}} \cdot \sigma_s$$

$A_{s,min}^{CRC}$ – minimālais stieģrojuma šķērsgriezuma laukums stieģtajā zonā;

A_{ct} – betona šķērsgriezuma laukums stieģtajā zonā (stieģtā zona ir tā šķērsgriezuma daļa, kurai no aprēķina izriet, ka tā būs stieģta tieši pirms pirmās plaisas izveidošanās):

$$A_{ct} = \frac{1}{2} \cdot b \cdot d = \frac{1}{2} \cdot 1000 \cdot 77 = 38500 \text{ mm}^2;$$

b – normatīvais laidums, kuru pieņem 1000 mm;

d – plātnes darbīgais biežums.

$f_{ct,eff}$ – betona stieģes stiprības vidējā vērtība laika momentā, kad var sagaidīt pirmās plaisas parādīšanos

$f_{ct,eff} = f_{ctm}$ vai mazāka ($f_{ctm}(t)$), ja plaisāšana ir sagaidāma agrāk kā pēc 28 dienām

(LVS EN 1992-1-1/3.1. tabula vai arī analītiskais aprēķins: $f_{ctm} = 0,3 \times f_{ck}^{(2/3)} = 2,21 \text{ MPa}$);

k – koeficients, kas ievēro nevienmērīgu pašlīdzsvarojošo spriegumu efektu, kas noved pie iespīlējuma spēku samazināšanās (sieniņas plātnēm ar $h \leq 300$ mm vai plauktiem ar platumu < 300 mm, $k=1,0$);

k_c – koeficients, kas ņem vērā sprieguma sadalījumu šķēlumā tieši plaisāšanas un sviras pleca izmaiņām (LVS EN 1992-1-1/7.2. formula, tā kā aksiālais spēks plātnē = 0, tad $k_c = 0,4$);

σ_s – maksimālā pieļaujamā stieģrojuma sprieguma absolūtā vērtība tieši pēc plaisas izveidošanās (šo spriegumu var pieņemt vienādu ar tērauda tecēšanas robežu stieģrojumam $f_{yk} = 300 \text{ MPa}$).

Nosaku minimālo nepieciešamo stieģrojuma laukumu stieģtajā zonā un veicu pārbaudi:

$$A_{s,min}^{CRC} = \frac{1 \cdot 0,4 \cdot 2,21 \cdot 38500}{300} = 113,45 \text{ (mm}^2\text{)}$$

$$A_s^{prov} > A_{s,min}^{CRC} \Rightarrow 226 \text{ (mm}^2\text{)} > 113,45 \text{ (mm}^2\text{)}$$

Nosacījumi izpildās

Jāpārlicinās, vai konkrētais stieģrojuma diametrs nepārsniedz maksimāli pieļaujamo (pēc LVS EN 1992-1-1/7.2N tabulas). Pie ārējās vides iedarbības klases X0 pieļaujamais plaisas platums $w_k = 0,4$ (pēc LVS EN 1992-1-1/7.1N tabulas) un $\sigma_s = 212 \text{ MPa}$ – noteikšanai izmanto grāmatas „How to design concrete structures using EC2” grafiku FIGURE 4 20. lpp.

$$\sigma_s \text{ atrod pēc formulas: } \sigma_s = \sigma_{su} \cdot \left(\frac{A_s^{req}}{A_s^{prov}} \right) \cdot \left(\frac{1}{\delta} \right)$$

Lai aprēķinātu σ_{su} no līknēm (Figure 4), nosaka parametru ψ_2 - kvazi pastāvīgās slodzes ietekmējošo koeficientu, pieņemu kā 0,6 atbilstoši D kategorijai, kas raksturo, ka pārsegums domāts tirdzniecības telpu (izstāžu zāle) slodžu uzņemšanai (How to design 3.lpp.3. tabula), kā arī parciālo koeficientu $\gamma_G = 1,35$ - pastāvīgai slodzei. Pie pastāvīgās slodzes tiek pieskaitīts arī pašsvars. Attiecība starp pastāvīgo un mainīgo slodzi ir:

$$\frac{G_k}{Q_k} = \frac{3,69}{4,1} = 0,90$$

G_k – pastāvīgās slodzes normatīvā vērtība;

Q_k – lietderīgās slodzes normatīvā vērtība.

No līknes (Figure 4) nosaku $\sigma_{su} = 287$ (MPa). Tā kā momentu pārdale nenotiek, tad $\delta = 1$.

$$\sigma_s = 240 \cdot \left(\frac{206,1}{226}\right) \cdot \left(\frac{1}{1}\right) = 219 \text{ MPa}$$

No dotajām sakarībām izriet, ka maksimālais stiegrojums nevar pārsniegt $\phi_{max} = 20$ mm. Tā kā plātnēm tiek pielietotas stiegras ar 6 mm ϕ , tad

Nosacījumi izpildās

Jāpārlicinās, vai konkrētais stiegrojuma solis nepārsniedz maksimāli pieļaujamo (pēc LVS EN 1992-1-1/7.3N tabulas). Pie ārējās vides iedarbības klases X0 pieļaujamais plaisas platums $w_k = 0,4$ (pēc LVS EN 1992-1-1/7.1N tabulas) un $\sigma_s = 219$ MPa, līdz ar to $S_{max} = 250$ (mm).

$$S \leq S_{max} \Rightarrow 125 < 250$$

Nosacījumi izpildās

Tā kā visi nosacījumi izpildās, tad plātnei ir nodrošināta plaisāšanas izturība ar jau iepriekš noteikto stiegrojuma izvietojumu.

Plaisu tabula

Laidums	A_s^{req} , mm ²	A_s^{prov} , mm ²	σ_s , MPa	ϕ_{max} mm	ϕ , mm	$Sol_{s,max}$ mm	solis, mm
AB	206,100	226,000	218,867	20,000	6,000	250,000	125
BC	138,731	170,000	195,856	32,000	6,000	300,000	165
CD	157,733	170,000	222,682	20,000	6,000	250,000	165
DE	136,410	170,000	192,579	32,000	6,000	300,000	165
EF	206,100	226,000	218,867	20,000	6,000	250,000	125
Balsti							
B	259,811	283,000	220,334	20,000	6,000	250,000	100
C	223,428	226,000	237,269	20,000	6,000	250,000	125
D	180,567	198,000	218,869	20,000	6,000	250,000	140
E	240,766	255,000	226,603	20,000	6,000	250,000	110

Piezīme: Visos gadījumos $A_{s,min} = 113,45$ mm².

Izlieču regulēšana

Pārbaudes uz izlieci veicu saskaņā ar grāmatas „How to design concrete structures using EC2” 20. lpp., Figure 3 apraksta. Šis ir vienkāršotais pārbaudes veids, ko izmanto gadījumos, kad nav nepieciešams rēķināt izlieces tiešā veidā. Šis pieņēmums balstās uz laiduma un darbīgā augstuma attiecību.

Malējās plātnes izlieces pārbaude laidumā AB:

$$\text{basic } \frac{l}{d} \cdot F_1 \cdot F_2 \cdot F_3 \geq \text{actual } \frac{l}{d}, \text{ kur}$$

$$\frac{l}{d} = K \left(11 + \frac{1,5\sqrt{f_{ck}\rho_0}}{\rho} + 3,2\sqrt{f_{ck}} \left(\frac{\rho_0}{\rho} - 1 \right)^{1,5} \right), \text{ kur}$$

$$\rho = \frac{A_s^{prov}}{bd} = \frac{226}{1000} \cdot 77 = 0,294\%, \quad \rho_0 = \frac{\sqrt{f_{ck}}}{1000} = \frac{\sqrt{20}}{1000} = 0,447\%$$

$$\frac{l}{d} = 1,3 \left(11 + \frac{1,5\sqrt{20} \cdot 0,447}{0,294} + 3,2\sqrt{20} \left(\frac{0,447}{0,294} - 1 \right)^{1,5} \right) = 34,62$$

$F_1 = 1,0$ – koeficients, kas atkarīgs no elementa šķērsriezuma veida (taisnstūris);

$F_2 = 1,0$ – koeficients, kas atkarīgs no laiduma garuma ($l < 7m$);

$F_3 = \frac{310}{\sigma_s} = \frac{310}{219} = 1,42$ – koeficients, kas atkarīgs no sprieguma stiebrojumā pēc plaisas izveidošanās,

Līdz ar to: $34,62 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,42 = 49,16$

$$\text{actual } \frac{l}{d} = \frac{2000}{77} = 25,97$$

$$49,16 > 25,97$$

Nosacījumi izpildās

Izlieču tabula

Laidums	A_s^{prov} , mm^2	ρ_o	K	l/d	basic l/d	actual l/d
AB	226,000	0,002935	1,3	34,617	49,156	25,974
BC	170,000	0,002208	1,5	59,137	83,975	25,974
CD	170,000	0,002208	1,5	59,137	83,975	25,974
DE	170,000	0,002208	1,5	59,137	83,975	25,974
EF	226,000	0,002935	1,3	34,617	49,156	25,974

Piezīmes: K – konstruktīvo atšķirību faktors, kuru malējām plātnēm pieņem kā 1,3, bet vidējām 1,5.

1.3. Palīgijas

Veicamie pasākumi:

1. Konstrukcijas kalpošanas laika noteikšana;
2. Slodžu novērtēšana;
3. Slodžu kategoriju izvērtēšana;
4. Slodžu kombināciju noteikšana;
5. Materiāla īpašību un apkārtējās vides novērtēšana;
6. Ugunsturības klases noteikšana;
7. Aizsargslāņa noteikšana;
8. Piepūļu noteikšana;
9. Lieces stiebrojuma aprēķināšana;
10. Izlieces pārbaude;
11. Šķērsspēka pārbaude;
12. Stiegru soļa pārbaude.

1.3.1. Konstrukcijas kalpošanas laiks

Tiek pieņemts saskaņā ar angļu nacionālo pielikumu pēc grāmatas „How to design concrete structure uzsing EC2” Table 1. Šajā kursa darbā kalpošanas laiku pieņem 50 gadus, kas atbilst civilajām ēkām un līdzīgām struktūrām.

1.3.2. Iedarbojošās slodzes

Uz palīgijām iedarbojas lietderīgā slodze, pārseguma svars un siju pašsvars.

1.3.3. Slodžu kategorijas

Kursa darbā pieņem, ka ēka atbilst D kategorijai, kurai atbilst:

$\psi_0 = 0,7$ – faktors, kas nosaka mainīgo iedarbju reprezentatīvo vērtību kombinācijas vērtībām;

$\psi_1 = 0,7$ – faktors, kas nosaka mainīgo iedarbju reprezentatīvo vērtību biežāk sastopamai vērtībai;

$\psi_2 = 0,6$ – faktors, kas nosaka mainīgo iedarbju reprezentatīvo vērtību kvazi - pastāvīgai vērtībai;

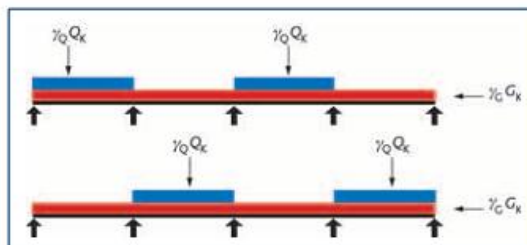
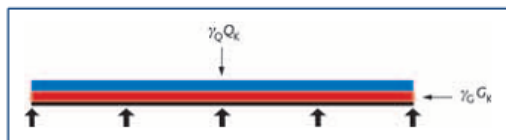
1.3.4. Slodžu kombinācijas

Aprēķiniem izmantoju slodžu kombināciju paku Nr. 2 no grāmatas „How to design concrete structure using EC 2” 10. lpp.

Lielākās piepūles ir jāievērtē no slodžu kombinācijas gadījuma, kad:

visā laidumā tiek izvietota pastāvīgā un lietderīgā slodze;

visā laidumā tiek izvietota pastāvīgā slodze, bet lietderīgo slodzi novieto atstājot vienu laidumu neslogotu.



1.3.5. Materiāla un apkārtējās vides īpašības

- Betona klase C20/25
 $f_{ck} = 20 \text{ MPa}$, $f_{ctm} = 2,2 \text{ MPa}$, E_{cm}^b (elastības modulis) = 30 GPa
- Nesaspriegtā darba stieģrojuma tērauda klase B300.
- Apkārtējās vides iedarbības klase X0.
- Konstrukciju klase S4.

1.3.6. Ugunsturības klase

Šajā kursa darbā netiek apskatīta.

1.3.7. Sijas aizsargslānis

Dzelzsbetona elementa aizsargslāni nosaka pēc LVS EN 1992-1-1 4. nodaļas. Minimālais aizsargslāņa biezums tiek aprēķināts, izmantojot formulu (4.2):

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

$$c_{min} = \max\{16; 10 + 0 - 0 - 0; 10\} = 16 \text{ mm}$$

Dzelzsbetona elementa nominālo aizsargslāni nosaka pēc formulas:

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev} = 10 + 16 = 26 \text{ mm}$$

Dzelzsbetona nominālais aizsargslāņa biezums ir 26 mm.

1.3.8. Piepūles

Sākumā tiek pieņemti palīgizmēri, kuri atkarīgi no laiduma ($l = 6500 \text{ mm}$) un ieteicami robežās:

$$h = l \left(\frac{1}{12} \div \frac{1}{8} \right); b \geq h \left(\frac{1}{4} \div \frac{1}{2} \right) \Rightarrow h = \frac{6500}{12} \approx 550 \text{ mm}, b = \frac{550}{4} \approx 250 \text{ mm}$$

Pašsvara slodze no dzelzsbetona sijas: $h \cdot b \cdot \rho_{cem} = 0,55 \cdot 0,25 \cdot 2500 = 343,75 \text{ kg/m} = 3,369 \text{ kN/m}$

Pastāvīgā slodze no pārseguma svara: $l_1 \cdot (2,5 \text{ kN/m} + 1,19 \text{ kN/m}) = 2 \cdot (3,69) = 7,38 \text{ kN/m}$

Lietderīgā pārseguma slodze: $l_1 \cdot 4,1 \text{ kN/m} = 2 \cdot 4,1 = 8,20 \text{ kN/m}$

Slodžu tabula

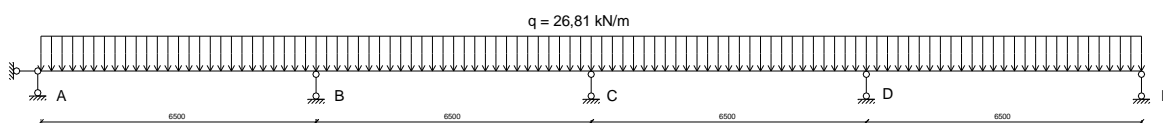
Nr. p.k.	Lineāro slodzi veidojošās sastāvdaļas	Slodzes raksturīgā vērtība, (kN/m)	Slodzes drošuma koeficients, γ_F	Slodzes aprēķina vērtība (kN/m)
1.	Pašsvars	3,369	1,35	4,548
2.	Pastāvīgā slodze	7,38	1,35	9,963
3.	Lietderīgā slodze	8,20	1,50	12,3

Pastāvīgā lineārā slodze: $q_d = 4,548 + 9,963 = 14,51 \text{ kN/m}$

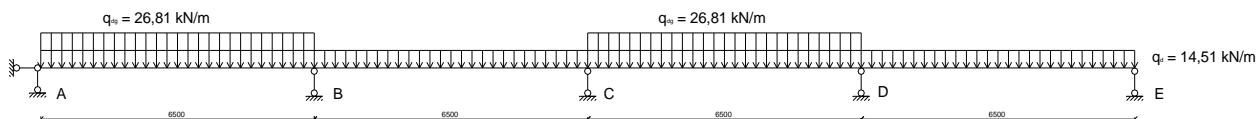
Lietderīgā lineārā slodze: $q_g = 12,30 \text{ kN/m}$

Slodžu shēmas

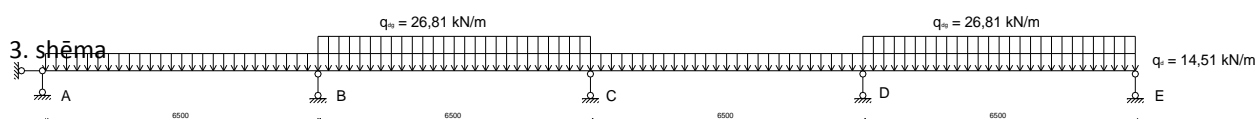
1. shēma



2. shēma



3. shēma



Lieces momenta vērtību tabula

Shēma Nr.	M_{AB} kN·m	M_{BC} kN·m	M_{CD} kN·m	M_{DE} kN·m	M_B kN·m	M_C kN·m	M_D kN·m
1.	87,381	40,454	40,454	87,381	-121,363 ^{max}	-80,909 ^{max}	-121,363 ^{max}
2.	98,517 ^{max}	-1,253 ^{min}	63,654 ^{max}	36,314 ^{min}	-93,523 ^{min}	-62,349 ^{min}	-93,523 ^{min}
3.	36,314 ^{min}	63,654 ^{max}	-1,253 ^{min}	98,517 ^{max}	-93,523 ^{min}	-62,349 ^{min}	-93,523 ^{min}

Piezīme: Piepūju vērtības tiek iegūtas izmantojot aprēķinu programmu Axis VM 10 LT. Nepieciešamības gadījumā var uzrādīt iegūtos rezultātus.

Lieces momenti apzīmēti ar burtiem, kuri norāda balstu vai laidumu, kurā nosaka piepūles.

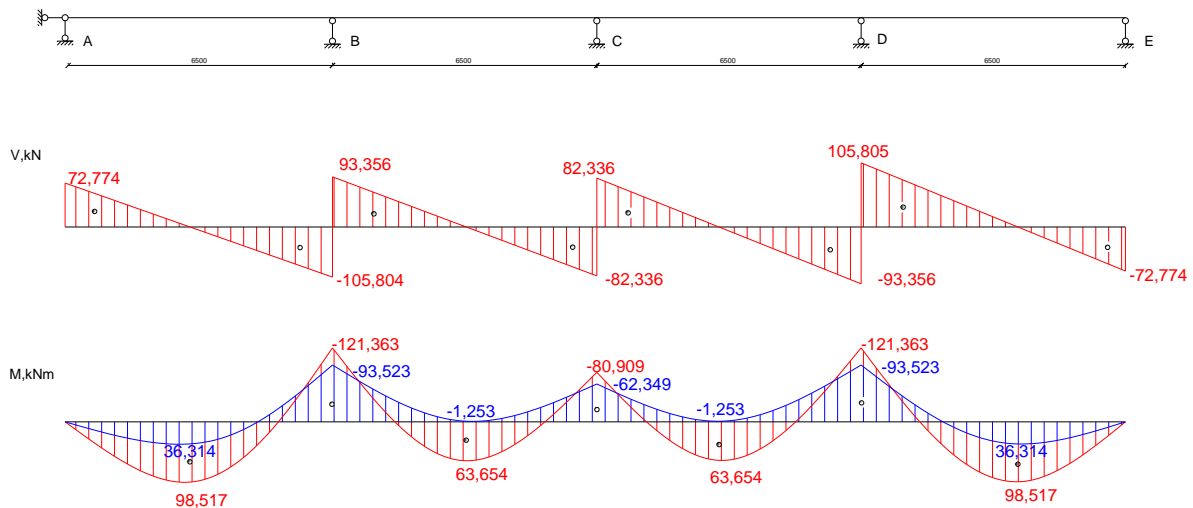
Lieces momentu vērtības M_{AB} un M_{DE} atrodas aptuveni 0,8 m attālumā no malējiem balstiem.

Lieces momenti M_{BC} un M_{DE} atrodas laidumu vidū.

Šķērsspēka vērtību tabula

Shēma Nr.	V_A kN	V_B kN	V_C kN	V_D kN	V_E kN
1.	68,461	-105,804 ^{max} 93,356 ^{max}	-80,909 80,909	-93,356 ^{max} 105,805 ^{max}	-68,461
2.	72,744 ^{max}	-101,521 51,954	-42,361 82,336 ^{max}	-91,929 61,546	-32,769
3.	32,769	-61,546 91,929	-82,336 ^{max} 42,361	-51,954 101,521	-72,744 ^{max}

Aptvērējepīras



1.3.9. Lieces stiegrojums

Stiegrojuma daudzumu un stiegru izmērus nosaka izmantojot LVS EN 1992-1-1 un grāmatu „How to design concrete structures using Eurocode 2”.

Vispirms aprēķina stiegrojuma stiepes aprēķinu pretestību, izmantojot formulu: $f_{yd} = f_{yk} / \gamma_c$, kur

f_{yd} – stiegrojuma stiepes aprēķina pretestība;
 f_{yk} – stiepes stiegrojuma normatīvā pretestība;
 $\gamma_c = 1,15$ (LVS EN 1992-1-1:2005, Tabula 2.1.N).

$$f_{yd} = \frac{300}{1,15} = 260 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

AB laiduma spiestā stiegrojuma nepieciešamības pārbaude

Pēc grāmatas „How to design concrete structure using EC2” 30. lpp. tiek noteikti aprēķina lielumi palīgijām:

$b_{eff} = (b_w + b_{eff1} + b_{eff2})$, kur

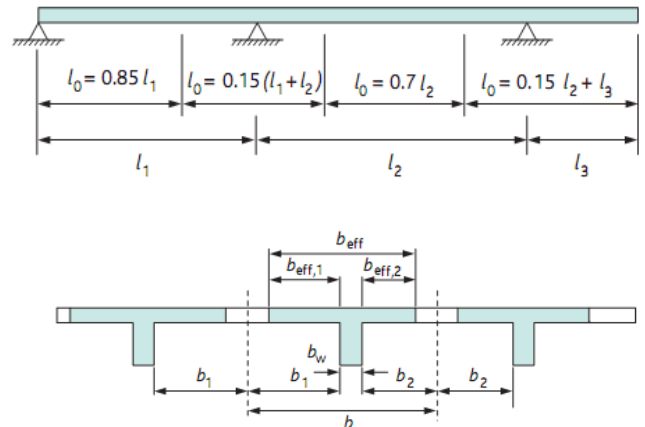
$b_{eff1} = (0,2b_1 + 0,1l_0) \leq 0,2l_0 \leq b_1$

$b_{eff2} = (0,2b_2 + 0,1l_0) \leq 0,2l_0 \leq b_2$

b_{eff} – efektīvais plātnes platums

b_w – sijas sienīņas biezums

l_0 – attālums starp punktiem, kur $M = 0$ kNm



$$b_{eff1} = (0,2 \cdot (2 - 0,25) / 2 + 0,1 \cdot (0,85 \cdot 6,5))$$

$$\leq 0,2 \cdot 5,525 \leq 0,875$$

$$b_{eff1} = 0,7275 \leq 1,105 \leq 0,875$$

$$b_{eff2} = (0,2 \cdot (2 - 0,25) / 2 + 0,1 \cdot (0,85 \cdot 6,5))$$

$$\leq 0,2 \cdot 5,525 \leq 0,875$$

$$b_{eff2} = 0,7275 \leq 1,105 \leq 0,875$$

$$b_{eff} = (250 + 727,5 + 727,5) = 1705 \text{ mm}$$

Pēc grāmatas „How to design concrete structures using Eurocode 2, 30.lpp.” nosaka konstrukciju

ietekmējošā faktora k vērtību: $k = \frac{M_{Ed}}{b_{eff} \cdot d^2 \cdot f_{ck}}$, kur

M_{Ed} – maksimālā lieces momenta vērtība dotajā laidumā, $M_{Ed} = 98,517 \text{ kN} \cdot \text{m}$;

b_{eff} – sijas aprēķina platums, $b = 0,25 \text{ m}$;

d – sijas efektīvais biezums, $d = h - (c_{nom} + \varnothing / 2 + \text{aptveres } \varnothing) = 0,55 - (0,026 + 0,008 + 0,01) = 0,506 \text{ m}$;

f_{ck} – betona cilindra spiedes stiprība, $f_{ck} = 20 \text{ MPa}$.

$$k = \frac{98,517 \cdot 10^3}{1,705 \cdot 0,506^2 \cdot 20 \cdot 10^6} = 0,0113$$

Jāizpildās nosacījumam $k \leq k'$ („How to design concrete structures using Eurocode 2, 19.lpp.”)

$$k' = 0,60\delta - 0,18\delta^2 - 0,21 = 0,60 - 0,18 - 0,21 = 0,21, \text{ kur}$$

k – pārslāides koeficients, δ – pārslāides attiecība, kuru pieņem kā 1.

Tā kā $k = 0,0113$, bet $k' = 0,21$, tad stiegrojums spiestajā zonā nav nepieciešams.

AB laiduma šķērsriezuma stiegrojuma laukums stieptajā zonā

Vispirms pēc grāmatas „How to design concrete structures using Eurocode 2”, 19.lpp. 5. tabulas tiek noteikts iekšējais spēku pāra plecs, kas atkarīgs no k vērtības.

$$z = d/2 \left(1 + \sqrt{1 - 3,35k}\right) \leq 0,95d = 0,506/2 \left(1 + \sqrt{1 - 3,35 \cdot 0,0113}\right) = 0,501m > \underline{0,481 m}$$

Neitrālās ass dziļums:

$$x = 2,5(d - z) = 2,5(0,506 - 0,481) = 0,0625m$$

Tā kā $x < 1,25 h_f$ (plātnes augstums), tad aprēķinu veicu kā taisnstūra šķērsgriezumam saskaņā ar grāmatas „How to design concrete structures using EC 2” 27. lpp Figure 2 un 31. lpp. Figure 14.

Nepieciešamais stiegrojuma laukums.

$$A_s^{req} = \frac{M_{Ed}}{f_{yd} \cdot z} = \frac{98,517 \cdot 10^6}{260 \cdot 481} = 788 (mm^2)$$

Grāmatas „Design of concrete structure in EC 2”, 394. lpp. A. 1 tabulā atrodu nepieciešamo stieņu skaitu pie $\varnothing = 16$ mm.

Nepieciešamas 4 stiegras, kas nodrošina stiegrojuma laukumu $A_{s,prov} = 804 mm^2$.

Nosacījumi $A_{s,prov} \geq A_s^{req}$ izpildās.

4H16

Stiegrojuma laukuma pārbaude

$$A_{s,min} \leq A_{s,prov} \leq A_{s,max}$$

Minimālais pieļaujamo stiegrojuma šķērsriezuma laukums tiek aprēķināts pēc LVS EN 1992-1-1:2005

9.2.1.1. dotās formulas: $A_{s,min} = \frac{0,26 \cdot f_{ctm} \cdot b_t \cdot d}{f_{yk}}$, kur

f_{ctm} – aksiālās stiepes stiprības vidējā vērtība, $f_{ctm} = 0,3 \cdot f_{ck}^{(2/3)} = 2,21$ MPa, pēc LVS EN 1992-1-1/3.1. tabulas.

$$A_{s,min} = \frac{0,26 \cdot 2,21 \cdot 250 \cdot 506}{300} = 242,29 (mm^2)$$

Maksimāli pieļaujamo laukumu aprēķina pēc grāmatas „How to design concrete structures using Eurocode 2”, 19. lpp, vispirms nosakot betona šķērsriezuma laukumu.

$$A_c = b \cdot h = 250 (mm) \cdot 550 (mm) = 137500 (mm^2)$$

$$A_{s,max} = 0,04 \cdot A_c = 0,04 \cdot 137500 = 5500 (mm^2)$$

$$A_{s,min} = 242,29 (mm^2) < A_{s,prov} = 804 (mm^2) < A_{s,max} = 5500 (mm^2)$$

Stiegrojuma izvietojuma pārbaude

Solis starp stiegrām: $(250 - (2 \cdot 26) - 16) / 3 = 60,6$ mm;

Attālums starp stiegrām: $60,6 - 16 = 44,6$ mm;

Minimālais pieļaujamo attālums starp stiegrojumu:

= max (stiegru diametrs; pildvielas izmērs + 5mm, 20 mm)

= max (16; x ; 20 mm) \Rightarrow 20 mm

Tā kā attālums starp stiegrām ir lielāks kā minimāli pieļaujamo, tad stiegrojums ir atbilstošs un var tikt izmantots.

Stiegrojuma tabula

Laidums	M_{Ed} kN·m	b_{eff1}	b_{eff2}	b_{eff}	k	z	A_s^{req} , mm ²	Ø, mm	skaitis, gab.	A_s^{prov} , mm ²	attālums, mm	Min, mm
AB	98,517	0,728	0,728	1,705	0,011	0,481	788	16	4	804	44	20
BC	63,654	0,370	0,370	0,990	0,012	0,481	509	16	2	402	50	20
								10	2	157		
CD	63,654	0,370	0,370	0,990	0,012	0,481	509	16	2	402	50	20
								10	2	157		
DE	98,517	0,728	0,728	1,705	0,019	0,481	788	16	4	804	44	20
Balsti												
B	121,363			0,250	0,095	0,462	1010	16	5	1010	29	20
C	80,909			0,250	0,063	0,478	651	16	2	402	33	20
								12	3	339		
D	121,36			0,250	0,095	0,462	1010	16	5	1010	29	20

Piezīmes: k' vērtība visos raksturīgajos šķēļumos ir 0,21 un tā kā k ir mazāks par k' , tad stiegrojums spiestajā zonā nav nepieciešams.

Tā kā x visos gadījumos ir mazāks par $1,25h_t$, tad aprēķini tiek veikti pēc taisnstūra šķērsriezuma elementu aprēķina principa.

Minimālais un maksimālais stiegrojuma laukums visos gadījumos paliek nemainīgs, jo visos, un ir $A_{s, min} = 250\text{mm}^2$, bet $A_{s, max} = 5500\text{mm}^2$.

1.3.10. Šķērsstiegrojums

Šķērsstiegrojuma aprēķins tiek veikts pēc grāmatas „How to design concrete structures using EC 2” 28. lpp. Figure 5. Aprēķina piemērs tiek izstrādāts balstam A:

Vispirms nosaka pielikās slodzes radīto šķērsvirziena bīdes spriegumu:

$$v_{Ed} = V_{Ed} / (0,9b_w d) = 72,774 \text{ kN} / (0,9 \cdot 250 \text{ mm} \cdot 506 \text{ mm}) = 0,639 \text{ MPa}$$

Maksimāli pieļaujamo bīdes spēku vērtību šķēļumā $v_{Rd, max}$ pie $\cot \theta = 2,5$ nosaka no Table 7. Dotajā gadījumā, kad betona cilindriskā spiedes stiprība ir 20 MPa, $v_{Rd, max}$ pie $\cot \theta = 2,5 = 2,54 \text{ MPa}$.

$$\text{Tā kā } v_{Ed} < v_{Rd}, \text{ tad } \frac{A_{sw}}{s} = \frac{v_{Ed} b_w}{f_{ywd} \cot \theta}, \text{ kur}$$

A_{sw} – šķērsspēku uzņemošā stiegrojuma šķērsriezuma laukums

s – slēgto aptveru atstarpes (attālumi);

f_{ywd} – šķērsspēku uzņemošā stiegrojuma tecēšanas robeža, $f_{ywd} = f_{yk} / 1,15 = 300 / 1,15 = 260,87 \text{ MPa}$;

$\cot \theta$ – spriegumu sadalījuma leņķis, pēc LVS EN 1992 -1 – 1 6.7 N punkta ieteicams robežās starp 1 un 2,5.

$$\frac{A_{sw}}{s} = \frac{0,639 \cdot 250}{260 \cdot 2,5} = 0,245$$

Minimālā šķērsspēku uzņemošā laukuma un aptveru attālumu attiecība: $\frac{A_{sw}}{s} = \rho_{w, min} b_w \sin \alpha$, kur

$$\rho_{w, min} = 0,08 \cdot f_{ck}^{0,5} / f_{yk} = 0,08 \cdot 20^{0,5} / 300 = 0,0012;$$

$\sin \alpha$ – leņķis starp šķērsstiegrojumu un garenasi, vertikālajam šķērsstiegrojumam = 1;

$$\frac{A_{sw}}{s} = 0,0012 \cdot 250 \cdot 1 = 0,298;$$

Maksimāli pieļaujamo soli nosaka no izteiksmes: $s_{l, max} = 0,75d = 0,75 \cdot 506 = 380 \text{ mm}$

Aprēķina soli pieņemu 350 mm, tāpēc $\frac{A_{sw}}{350} = 0,298 \Rightarrow A_{sw} = 104,3 \text{ mm}^2$ un aptverei tiek izvēlēts stiegrojums:

H10@350 ($A_{sw}/s = 157/350 = 0,448$)

Šķērsstiegrojuma (aptveru) tabula

Balsti	V_{Ed} , kN	v_{Ed} , MPa	A_{sw}/s	s_l , mm	A_{sw} , mm ²	Stiegrojums	$A_{sw,prov}$, mm ²	$(A_{sw}/s)_{prov}$
A,E	72,774	0,639	0,245	350	104,3	2H10@350	157	0,448
B,D	199,16	1,749	0,671	200	234,7	2H10@200	157	0,785
C	164,672	1,446	0,554	250	194,1	2H10@250	157	0,628

Piezīmes: Maksimāli pieļaujamo bīdes spēku vērtību šķēlumā $v_{Rd,max}$ pie $\cot \vartheta = 2,5 = 2,54$ MPa;
 Minimālā šķērsspēku uzņemošā laukuma un aptveru attālumu attiecība $(A_{sw}/s)_{min} = 0,298$;
 Maksimāli pieļaujamais solis $s_{l,max} = 380$ mm.

1.3.11. Izmantojamo aptveru skice

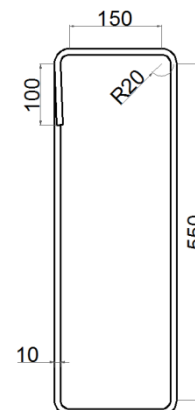
Aptverēm tiek izmantotas stiegras ar diametru 10 mm. Lai konstrukciju padarītu drošāku un tehnoloģiski vieglāk izveidojamu, kā arī mazinātu nelabvēlīgo ietekmi sakarā ar dažādajiem starpsiju laidumiem, aptveru pārlaidumu vietas jāveido atbilstoši skicēs norādītajām.

Aptveru iekšējā liekuma diametru stiegrām ar diametru ne lielāku par 16 mm, nosaka pēc formulas:

$$\phi_{min} = 4 \cdot \phi = 40 \text{ mm, attiecīgi } R = 20 \text{ mm.}$$

Minimālo pārlaidumu nosaka no sakarības:

$$10 \cdot \phi \geq 70 \text{ mm} \Rightarrow 100 \text{ mm}$$



Att. 1.3.1. Šķērssijas aptveres skice

1.3.12. Lietojamības robežstāvoklis

Plaisu regulēšana

Pāraudi veic šķēlumam virs balsta B saskaņā ar LVS NE 1992 -1 -1 7.3 paragrāfu.

Pieļaujamo plaisu platumu nosaka no LVS EN 1992 -1 -1 7.1 N tabulas pēc vides iedarbības klases. Tā kā iedarbības klase apskatāmajā gadījumā ir X0, tad rekomendējamā vērtība plaisu platumam w_{max} ir 0,4 mm.

Pēc tiešās aprēķinu metodes saskaņā ar 7.3.4. paragrāfu plaisu platumu w_k var izrēķināt no izteiksmes:

$$w_k = s_{r,max} \cdot (\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}), \text{ kur}$$

$s_{r,max}$ – maksimālais attālums starp plaisām;

ϵ_{sm} – stiegrojuma vidējā deformācija pie atbilstošās slodžu kombinācijas, ietverot lietderīgo deformāciju efektu un ņemot vērā stinguma palielināšanas efektus pie stiepes. Tiek apskatīta tikai papildus stiepes deformācija pēc betona nulles deformācijas stāvokļa tajā pašā līmenī;

ϵ_{cm} – vidējā deformācija betonā starp plaisām.

Starpību $(\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm})$ var izteikt no vienādojuma:

$$\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm} = \frac{\sigma_s - k_t \cdot \frac{f_{ct,eff}}{\rho_{p,eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{p,eff})}{E_s} \geq 0,6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s}$$

σ_s – spriegums stiepes stiegrojumā, pieņemot saplaisājušu šķēlumu. Iepriekš saspriegtiem elementiem σ_s var aizvietot ar spriegumu izmaiņu $\Delta\sigma_p$ spriegojamā stiegrojuma elementos no betona nulles deformācijas stāvokļa tajā pašā līmenī;

$$\sigma_s = \frac{M}{(d - \frac{x}{3}) \cdot A_s}$$

Lai noteiktu attālumu x līdz neitrālajai asij, nepieciešams aprēķināt:

E_{cm} – betona sekantes elastības modulis, kuru nosaka no LVS EN 1992-1-1 3.1. tabulas (30 GPa);

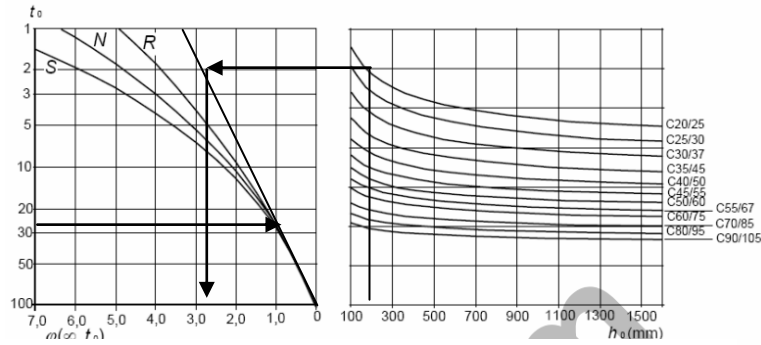
ϕ – betona šļūdes koeficients iekštelpu apstākļos, kuru izsaka aprēķinot attiecību:

$$\left(\frac{2A_c}{u} = \frac{2 \cdot (550 \cdot 250)}{2 \cdot (550 + 250)} = 171,875 \text{ mm} \right), \text{ kur}$$

A_c – šķērsriezuma laukums;

u – šķērsriezuma perimetrs.

un nolaset grafiku, kas redzams LVS EN 1992-1-1 3.1. attēlā. $\varphi = 2,85$.



Att. 1.3.2. Betona šķūdes koeficienta noteikšana

Noteikt betona efektīvo elastības moduli, ievērtējot šķūdes ietekmi un betona sekantes elastības moduli:

$$E_{c,eff} = \frac{E_{cm}}{1 + \varphi(\infty; t_0)} = \frac{30}{1 + 2,85} = 7,79 \text{ GPa (kN/mm}^2\text{)}$$

Attālums x līdz neitrālajai asij:

$$b \cdot x \cdot \frac{x}{2} = a_e \cdot A_s \cdot (d - x), \text{ kur}$$

$$a_e = \frac{E_s}{E_{c,eff}} = \frac{200}{7,79} = 25,67, \text{ kur}$$

E_s – stiegrojuma tērauda elastības moduļa aprēķina vērtība ($E_s = 200 \text{ kN/mm}^2$);

$$250 \cdot x \cdot \frac{x}{2} = 25,67 \cdot 1010 \text{ mm}^2 \cdot (506 - x)$$

Atrisinot vienādojumu iegūst, ka $x = 236,44 = 237 \text{ mm}$.

Tagad jāatrisina spriegumi, kas rodas stieptajā stiegrojumā:

$$\sigma_s = \frac{M}{(d - \frac{x}{3}) \cdot A_s} = \frac{121,363 \cdot 10^6}{(506 - \frac{237}{3}) \cdot 1010} = 281,41 \text{ N/mm}^2$$

$$\alpha_e = \frac{E_s}{E_{cm}} = \frac{200}{30} = 6,67$$

$$\rho_{p,eff} = \frac{A_s + \zeta_1^2 \cdot A_p'}{A_{c,eff}}, \text{ kur}$$

A_p' – priekšspriegošanas vai pēcspriegošanas spriegojamā stiegrojuma elementa laukums betona efektīvajā laukumā $A_{c,eff}$;

$A_{c,eff}$ – betona efektīvais stiepes laukums, kas aptver stiegrojumu vai spriegojumā stiegrojuma elementus augstumā $h_{c,eff}$;

$$h_{c,eff} = \min \left\{ \begin{array}{l} 2,5(h - d) \\ (h - x)/3 \\ h/2 \end{array} \right\} = \min \left\{ \begin{array}{l} 2,5(550 - 506) \\ (550 - 237)/3 \\ 550/2 \end{array} \right\} = \min \left\{ \begin{array}{l} 110 \\ 104 \\ 225 \end{array} \right\} = 104,33 \text{ mm}$$

$$A_{c,eff} = b_w \cdot h_{c,eff} = 250 \cdot 104,33 = 26083,33 \text{ mm}^2$$

ζ_1 – saistes stiprības koriģētā attiecība, ņemot vērā stiegrojuma vai spriegojamā stiegrojuma dažādos diametrus:

$$\zeta_1 = \sqrt{\zeta \cdot \frac{\phi_s}{\phi_p}}$$

Tā kā iepriekš saspriegta dzelzsbetona konstrukcijas netiek izmantotas, tad var uzskatīt, ka izteiksme $\zeta_1^2 \cdot A_p' = 0$ un attiecīgi:

$$\rho_{p,eff} = \frac{A_s}{A_{c,eff}} = \frac{1010}{26083} = 0,03872$$

k_t – no slogošanas ilguma atkarīgs koeficients ($0,6$ – īslaicīgai slogošanai; $0,4$ – ilglaicīgai slogošanai);

$$f_{ct,eff} = f_{ctm} = 2,21 \text{ MPa}$$

Atrod izteiksmes $\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}$ vērtību:

$$\frac{\sigma_s - k_t \cdot \frac{f_{ct,eff}}{\rho_{p,eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{p,eff})}{E_s} = \frac{281,41 - 0,4 \cdot \frac{2,21}{0,03872} \cdot (1 + 6,67 \cdot 0,03872)}{200 \cdot 10^3} = 0,00126$$

Apakšējā robežvērtība izteiksmei $\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}$:

$$0,6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} = 0,6 \cdot \frac{281,41}{200 \cdot 10^3} = 0,00084$$

Tā kā $0,00126 > 0,00084$ nosacījums izpildās!

Situācijās, kad saistes stiegrojums ir fiksēts pietiekami tuvu centriem stiepes zonā (stiegru solis $s \leq 5 \cdot (c + \emptyset/2)$), maksimālos gala plaisu attālumus var aprēķināt no izteiksmes:

$$s_{r,max} = k_3 \cdot c + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\emptyset}{\rho_{p,eff}}, \text{ kur}$$

k_1 – koeficients, kas ņem vērā stiegru saistes īpašības (*augstas saistes stiegrām 0,8*);

k_2 – koeficients, kas ņem vērā deformāciju sadalījumu (*liecei 0,5*);

k_3 – rekomendējamā vērtība atrodama nacionālajā pielikumā (*3,4*);

k_4 – rekomendējamā vērtība atrodama nacionālajā pielikumā (*0,425*);

c – garenstiegrojuma aizsargslāņa biezums (*36 mm*);

\emptyset – stiegru diametrs vai ekvivalents stiegru diametrs \emptyset_{eq} . Ja šķēlumā tiek izmantotas stiegras ar dažādiem diametriem, ir jālieto ekvivalents diametrs \emptyset_{eq} :

$$\emptyset_{eq} = \frac{n_1 \cdot \emptyset_1^2 + n_2 \cdot \emptyset_2^2}{n_1 \cdot \emptyset_1 + n_2 \cdot \emptyset_2}$$

Ja saistes stiegrojuma solis pārsniedz $s \leq 5 \cdot (c + \emptyset/2)$, tad plaisu platuma augšējo robežu atrod, pieņemot maksimālo plaisu soli:

$$s_{r,max} = 1,3(h - x).$$

$$s_s = 5 \cdot \left(c + \frac{\emptyset}{2}\right) = 5 \cdot \left(36 + \frac{16}{2}\right) = 220 \Rightarrow s < s_s \Rightarrow 200 < 220$$

$$s_{r,max} = k_3 \cdot c + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\emptyset}{\rho_{p,eff}} = 3,4 \cdot 36 + 0,8 \cdot 0,5 \cdot 0,425 \cdot \frac{16}{0,03872} = 192,65 \text{ mm}$$

Plaisu platums:

$$w_k = s_{r,max} \cdot (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) = 192,65 \cdot 0,00126 = 0,243 \text{ mm}$$

Tā kā $w_k < w_{max} = 0,243 < 0,4$, tad normatīvās prasības attiecībā uz maksimāli pieļaujamo plaisu platumu ir izpildītas.

Plaisu tabula

Laidums	M_{ED} , kNm	Stiegrojums				x, mm	Stiepes spriegumi σ_s , MPa	$h_{c,eff}$, mm			$A_{c,eff}$, mm ²	$\rho_{p,eff}$	Plaisāšana				
		Stiegru \emptyset , mm	Stiegru skaits, gab.	$A_{s,prov}$, mm ²	Stiegru \emptyset_{eq} , mm			2,5(h-d)	(h-x)/3	h/2			$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}$	nosacījums	0,6 σ_s / E_s	$s_{r,max}$, mm	w_k , mm
AB	98,517	16	4	804	16	218	282,8	110	110,7	275	27500	0,0292	0,0012	>	0,00085	195,15	0,23
BC	63,654	16	2	559	13,7	190	257,2	110	120	275	27500	0,0203	0,001	>	0,00077	216,73	0,22
		10	2														
CD	63,654	16	2	559	13,7	190	257,2	110	120	275	27500	0,0203	0,001	>	0,00077	216,73	0,22
		10	2														
DE	98,517	16	4	804	16	218	282,8	110	110,7	275	27500	0,0292	0,0012	>	0,00085	195,15	0,23
Balsti																	
B	121,363	16	5	1005	16	236	282,6	110	104,7	275	26175	0,0384	0,00124	>	0,00085	193,23	0,24
C	80,909	16	5	1005	16	236	188,4	110	104,7	275	26175	0,0384	0,00077	>	0,00057	193,23	0,15
D	121,363	16	5	1005	16	236	282,6	110	104,7	275	26175	0,0384	0,00124	>	0,00085	193,23	0,24

Piezīmes: Šķērsriezuma ģeometriskie izmēri: $h = 550 \text{ mm}$, $b = 250 \text{ mm}$, darbīgais augstums $d = 506 \text{ mm}$; betona sekantes elastības modulis $E_{cm} = 30 \text{ GPa}$; betona efektīvai elastības modulis $E_{c,eff} = 7,79 \text{ GPa}$; $\alpha_e = 25,67$; $\alpha_e = 6,67$; $w_{max} = 0,4 \text{ mm}$.

Izlieču pārbaude

Pārbaudes uz izlieci veicu saskaņā ar grāmatas „How to design concrete structures using EC2” 29. lpp., Figure 6 apraksta. Šis ir vienkāršotais pārbaudes veids, ko izmanto gadījumos, kad nav nepieciešams rēķināt izlieces tiešā veidā. Šis pieņēmums balstās uz laiduma un darbīgā augstuma attiecību.

Izlieci meklēju laidumā ar vislielāko momenta vērtību – šajā gadījumā tie ir laidumi AB un DE, kur $M_{ED} = 98,52 \text{ kNm}$.

$$\text{basic } \frac{l}{d} \cdot F_1 \cdot F_2 \cdot F_3 \geq \text{actual } \frac{l}{d}, \text{ kur}$$

$l/d = 23,9$ no „How to design concrete structures using EC2” 29. lpp., Figure 7.

$$\frac{A_s^{\text{prov}}}{b \cdot d} = \frac{804}{506 \cdot 250} = 0,64\%$$

$F_1 = 1,0$ – koeficients, kas atkarīgs no elementa šķērsriezuma veida (taisnstūris);

$F_2 = 1,0$ – koeficients, kas atkarīgs no laiduma garuma ($l < 7\text{m}$);

$F_3 = \frac{310}{\sigma_s} = \frac{310}{219} = 1,42$ – koeficients, kas atkarīgs no sprieguma stiebrojumā pēc plaisas izveidošanās,

Līdz ar to: $23,9 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,42 = 33,94$

$$\text{actual } \frac{l}{d} = \frac{6500}{506} = 12,85$$
$$33,94 > 12,85$$

Nosacījumi izpildās!

Ar aprēķinu metodi siju izlieci nosaku pēc grāmatā „How to design concrete structures using Eurocode2” 64.lpp. Figure 5 parādītās aprēķina metodikas.

Sijas izlieci nosaka pēc formulas: $\delta = k \cdot L^2 \cdot \frac{1}{R_{t,QP}}$, kur

k – koeficients, kas atkarīgs no pieliktās slodzes un balstījuma veida;

L – sijas laidums;

$\frac{1}{R_{t,QP}} = \frac{1}{R_n} + \frac{1}{R_{cs}}$ – sijas kopējais liekums no piepūlēm un betona rukuma.

$$\frac{1}{R_n} = \xi \frac{M_{Ed}}{E_{c,eff} I_c} + (1 - \xi) \cdot \frac{M_{Ed}}{E_{c,eff} I_u}, \text{ kur}$$

$\frac{1}{R_n}$ – sijas liekums no pieliktajām slodzēm;

ξ – koeficients, kas raksturo šķēluma saplaisāšanas pakāpi;

M_{Ed} – lieces moments apskatāmajā šķēlumā;

$E_{c,eff}$ – betona efektīvais elastības modulis ($7,79 \text{ GPa}$);

I_c – inerces moments saplaisājušam šķēlumam;

I_u – inerces moments nesaplaisājušam šķēlumam.

$$I_u = \frac{b_w h^3}{12} = \frac{250 \cdot 550^3}{12} = 3561,54 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$
$$\alpha_e = 25,67$$

$$\frac{b \cdot x_c^2}{2} = a_e \cdot A_s \cdot (d - x_c) \Rightarrow \frac{250 \cdot x_c^2}{2} = 25,67 \cdot 804 \cdot (506 - x)$$

Atrisinot vienādojumu iegūst, ka $x_c = 218 \text{ mm}$, kas ir saplaisājuša betona šķērsriezuma attālums no sijas augšējās malas līdz neitrālajai asij.

$$I_c = \frac{b \cdot x_c^3}{3} + a_e \cdot A_s \cdot (d - x)^2 = \frac{250 \cdot 218^3}{3} + 25,67 \cdot 804 \cdot (506 - 218)^2 = 2575,21 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$\xi = 1 - \beta \left(\frac{\sigma_{sr}}{\sigma_s} \right)^2 = 1 - \beta \left(\frac{M_{cr}}{M_{Ed}} \right)^2, \text{ kur}$$

$M_{cr} = \frac{0,9 \cdot f_{ctm} \cdot I_u}{h - x_u}$, kur

$x_u = \frac{h}{2} = \frac{550}{2} = 275 \text{ mm}$ – nesaplaisājuša betona neitrālās ass attālums.

$$M_{cr} = \frac{0,9 \cdot 2,21 \cdot 2575,21}{550 - 275} = 18,626 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\xi = 1 - 0,5 \cdot \left(\frac{18,626}{98,517} \right)^2 = 0,982$$

$$\frac{1}{R_n} = 0,982 \cdot \frac{98,517 \cdot 10^6}{7,79 \cdot 10^3 \cdot 2575,21 \cdot 10^6} + (1 - 0,982) \cdot \frac{98,517 \cdot 10^6}{7,79 \cdot 10^3 \cdot 2575,21 \cdot 10^6} = 4,91 \cdot 10^{-6} \frac{1}{\text{mm}}$$

$$\frac{1}{R_{cs}} = \xi \cdot \varepsilon_{cs} \cdot \alpha_e \cdot \frac{S_u}{I_u} + (1 - \xi) \cdot \varepsilon_{cs} \cdot \alpha_e \cdot \frac{S_c}{I_c}, \text{ kur}$$

$\frac{1}{R_{cs}}$ – sijas liekums no betona rukuma deformācijām;

ε_{cs} – brīvā rukuma deformācija (LVS EN 1992-1-1/3.1.4.apakšpunkts);

S_u – stieģrojuma statistiskais moments pret neitrālo asi nesaplaisājušam šķēlumam;

S_c – stieģrojuma statistiskais moments pret neitrālo asi saplaisājušam šķēlumam.

$$\varepsilon_{cs} = \varepsilon_{cd} + \varepsilon_{ca}, \text{ kur}$$

ε_{cd} – žūšanas rukuma deformācija

ε_{ca} – autogēnā rukuma deformācija

$$\varepsilon_{cd} = k_h \cdot \varepsilon_{cd,0} = 1 \cdot 0,544 \cdot 10^{-3} = 5,44 \cdot 10^{-4}$$

$\varepsilon_{ca} = \beta_{as}(t) \cdot \varepsilon_{ca}(\infty)$, kur

$$\beta_{as}(28) = 1 - \exp(-0,2 \cdot t^{0,5}) = 1 - 2,72 \cdot (-0,2 \cdot 28^{0,5}) = 0,653$$

$$\varepsilon_{ca}(\infty) = 2,5(f_{ck} - 10) \cdot 10^{-6} = 2,5(20 - 10) \cdot 10^{-6} = 25 \cdot 10^{-6}$$

$$\varepsilon_{ca} = \beta_{as}(t) \cdot \varepsilon_{ca}(\infty) = 0,653 \cdot 25 \cdot 10^{-6} = 1,633 \cdot 10^{-5}$$

$$\varepsilon_{cs} = \varepsilon_{cd} + \varepsilon_{ca} = 5,44 \cdot 10^{-4} + 0,1633 \cdot 10^{-4} = 5,6 \cdot 10^{-4}$$

$$S_u = A_s \cdot (d - x_u) = 804 \cdot (506 - 275) = 185724 \text{ mm}^3$$

$$S_c = A_s \cdot (d - x_c) = 804 \cdot (506 - 218) = 231552 \text{ mm}^3$$

$$\frac{1}{R_{cs}} = 0,982 \cdot 5,6 \cdot 10^{-4} \cdot 25,67 \cdot \frac{185724}{3561,54 \cdot 10^6} + (1 - 0,982) \cdot 5,6 \cdot 10^{-4} \cdot 25,67 \cdot \frac{231552}{2575,21 \cdot 10^6} = 0,76 \cdot 10^{-6} \frac{1}{\text{mm}}$$

$$\frac{1}{R_{t,QP}} = \frac{1}{R_n} + \frac{1}{R_{cs}} = 4,91 \cdot 10^{-6} + 0,76 \cdot 10^{-6} = 5,67 \cdot 10^{-6} \frac{1}{\text{mm}}$$

$$k = 0,104 \cdot \left(1 - \frac{\beta}{10} \right),$$

kur $\beta = \frac{M_A + M_B}{M_C} = \frac{0 + 121,363}{98,517} = 1,232$ (How to design concrete structures using Eurocode 2, 64.lpp Figure 6.)

$$k = 0,104 \cdot \left(1 - \frac{1,232}{10} \right) = 0,091$$

Sijas izliece:

$$\delta = k \cdot L^2 \cdot \frac{1}{R_{t,QP}} = 0,091 \cdot 6500^2 \cdot 5,67 \cdot 10^{-6} = 21,84 \text{ mm} < \frac{L}{250} = 26 \text{ mm}$$

Nosacījums izpildās!

1.4. Galvenā sija

Visas sākotnējās aprēķina prasības un metodes atbilst palīgsiju konstruēšanai.

1.4.1. Sijas aizsargslānis

Dzelzsbetona elementa aizsargslāni nosaka pēc LVS EN 1992-1-1 4. nodaļas. Minimālais aizsargslāņa biezums tiek aprēķināts, izmantojot formulu (4.2):

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

$$c_{min} = \max\{20; 10 + 0 - 0 - 0; 10\} = 10 \text{ mm}$$

Dzelzsbetona elementa nominālo aizsargslāni nosaka pēc formulas:

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev} = 20 + 10 = 30 \text{ mm}$$

Dzelzsbetona nominālais aizsargslāņa biezums ir 20 mm.

1.4.2. Piepūles

Sākumā tiek pieņemti palīgsijas izmēri, kuri atkarīgi no laiduma ($l = 6000 \text{ mm}$) un ieteicami robežās:

$$h = l \left(\frac{1}{12} \div \frac{1}{8} \right); b \geq h \left(\frac{1}{4} \div \frac{1}{2} \right) \Rightarrow h = \frac{6000}{8} \approx 750 \text{ mm}, b = \frac{750}{2} \approx 375 \text{ mm}$$

Pašsvara slodze no dzelzsbetona sijas: $h \cdot b \cdot \rho_{cem} = 0,75 \cdot 0,375 \cdot 2500 = 703 \text{ kg/m} = 6,891 \text{ kN/m}$

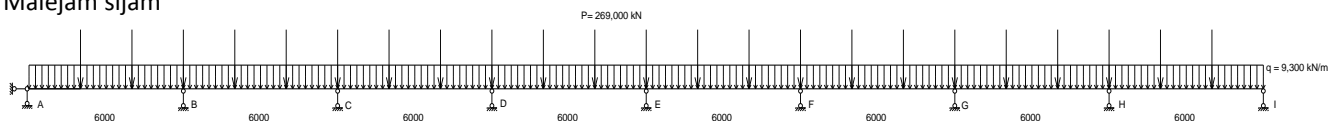
Pastāvīgā slodze tiek nodota no palīgsijām uz galveno siju kā koncentrēts spēks. Dotajā gadījumā uz vidējām sijām tiek nodoti 164,67 kN no katras palīgsijas, bet malējām sijām 199,26 kN.

Slodžu tabula

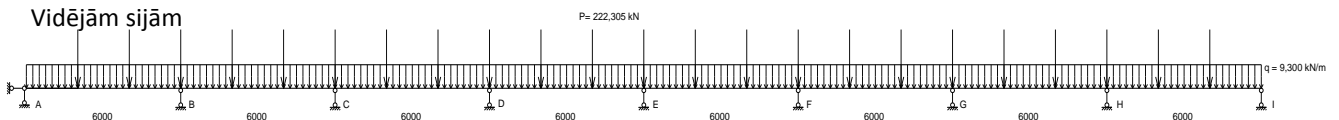
Nr. p.k.	Lineāro slodzi veidojošās sastāvdaļas	Slodzes raksturīgā vērtība	Slodzes drošuma koeficients, γ_f	Slodzes aprēķina vērtība
1.	Pašsvars	6,891 kN/m	1,35	9,3 kN/m
2.	Pastāvīgā slodze (malējās)	199,26 kN	1,35	269 kN
3.	Pastāvīgā slodze (vidējās)	164,67 kN	1,35	222,305 kN

Slodžu shēmas

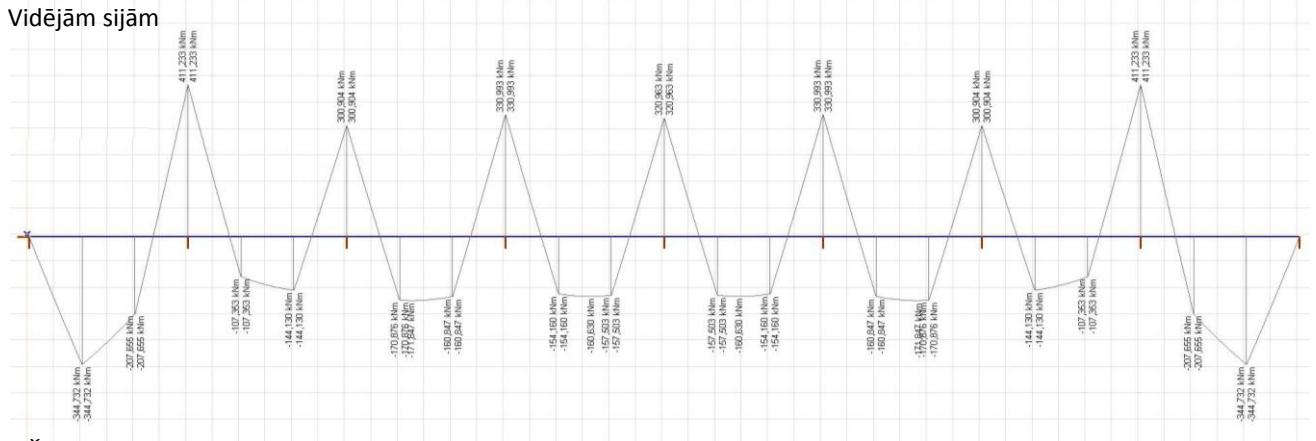
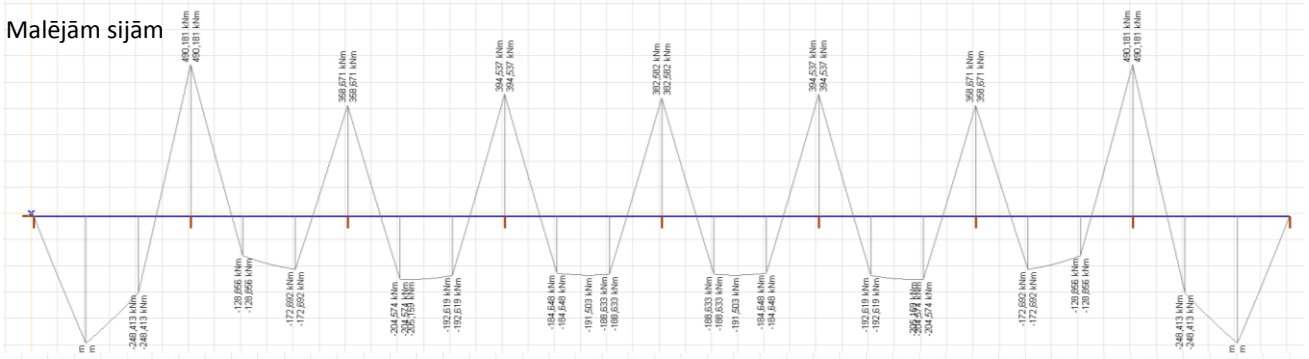
Malējām sijām



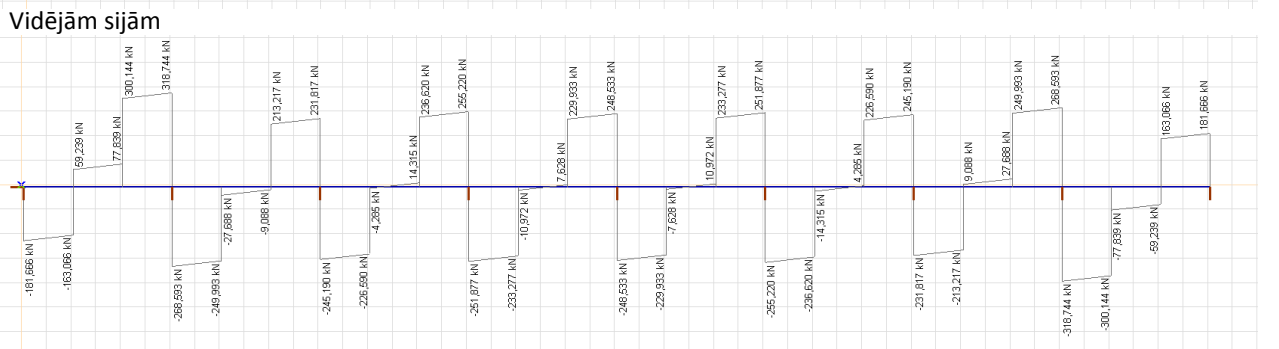
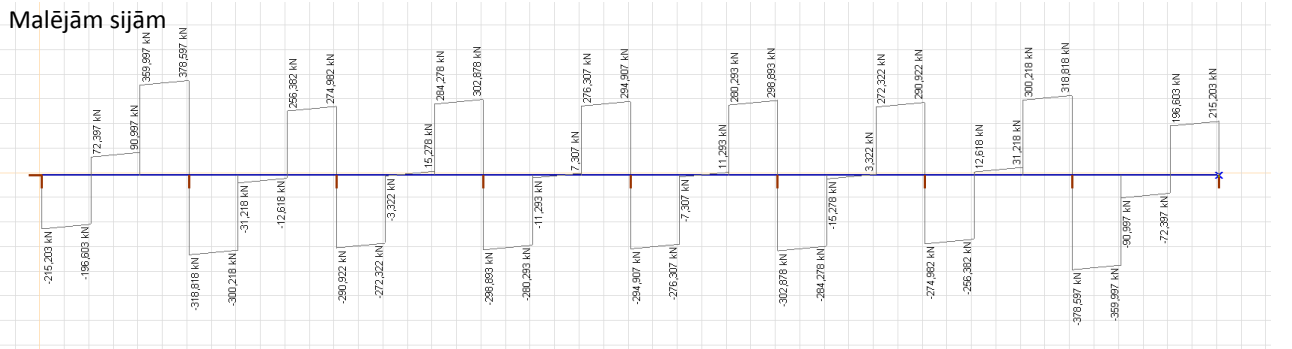
Vidējām sijām



Lieces momenta epīras



Šķērsspēka epīras



Piezīme: Aprēķinam izmantota galīgo elementu aprēķinu programma AXIS VM 10 LT.

1.4.3. Lieces stiegrojums

Stiegrojuma daudzumu un stiegru izmērus nosaka izmantojot LVS EN 1992-1-1 un grāmatu „How to design concrete structures using Eurocode 2”.

Vispirms aprēķina stiegrojuma stiepes aprēķinu pretestību, izmantojot formulu: $f_{yd} = f_{yk}/\gamma_c$, kur
 f_{yd} – stiegrojuma stiepes aprēķina pretestība;
 f_{yk} – stiepes stiegrojuma normatīvā pretestība;
 $\gamma_c = 1,15$ (LVS EN 1992-1-1:2005, Tabula 2.1.N).

$$f_{yd} = \frac{300}{1,15} = 260 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

Malējo siju AB laiduma spiestā stiegrojuma nepieciešamības pārbaude

Pēc grāmatas „How to design concrete structure using EC2” 30. lpp. tiek noteikti aprēķina lielumi palīgijām:

$b_{eff} = (b_w + b_{eff1} + b_{eff2})$, kur

$$b_{eff1} = (0,2b_1 + 0,1l_0) \leq 0,2l_0 \leq b_1$$

$$b_{eff2} = (0,2b_2 + 0,1l_0) \leq 0,2l_0 \leq b_2$$

b_{eff} – efektīvais plātnes platums

b_w – sijas sienas biezums

l_0 – attālums starp punktiem, kur $M = 0$ kNm

$$b_{eff1} = (0,2 \cdot (6,5 - 0,375)/2 + 0,1 \cdot (0,85 \cdot 6)) \leq 0,2 \cdot 5,1 \leq 3,06$$

$$b_{eff1} = 1,123 \leq \underline{1,02} \leq 3,06$$

$$b_{eff2} = (0,2 \cdot (6,5 - 0,375)/2 + 0,1 \cdot (0,85 \cdot 6)) \leq 0,2 \cdot 5,1 \leq 3,06$$

$$b_{eff2} = 1,123 \leq \underline{1,02} \leq 3,06$$

$$b_{eff} = (375 + 1020 + 1020) = 2415 \text{ mm}$$

Pēc grāmatas „How to design concrete structures using Eurocode 2, 30.lpp.” nosaka konstrukciju ietekmējošā faktora k vērtību: $k = \frac{M_{Ed}}{b_{eff} \cdot d^2 \cdot f_{ck}}$, kur

M_{Ed} – maksimālā lieces momenta vērtība dotajā laidumā, $M_{Ed} = 411,806 \text{ kN} \cdot \text{m}$;

b_{eff} – sijas aprēķina platums, $b = 0,375 \text{ m}$;

d – sijas efektīvais biezums, $d = h - (c_{nom} + \varnothing/2 + aptveres \varnothing) = 0,75 - (0,03 + 0,01 + 0,01) = 0,7 \text{ m}$;

f_{ck} – betona cilindra spiedes stiprība, $f_{ck} = 20 \text{ MPa}$.

$$k = \frac{411,806 \cdot 10^3}{2,415 \cdot 0,7^2 \cdot 20 \cdot 10^6} = 0,0174$$

Jāizpildās nosacījums $k \leq k'$ („How to design concrete structures using Eurocode 2, 19.lpp.”)

$$k' = 0,60\delta - 0,18\delta^2 - 0,21 = 0,60 - 0,18 - 0,21 = 0,21, \text{ kur}$$

k – pārslāides koeficients, δ – pārslāides attiecība, kuru pieņem kā 1.

Tā kā $k = 0,017$, bet $k' = 0,21$, tad stiegrojums spiestajā zonā nav nepieciešams.

AB laiduma šķērsriezuma stiegrojuma laukums stieptajā zonā

Vispirms pēc grāmatas „How to design concrete structures using Eurocode 2”, 19.lpp. 5. tabulas tiek noteikts iekšējais spēku pāra plecs, kas atkarīgs no k vērtības.

$$z = d/2 \left(1 + \sqrt{1 - 3,35k}\right) \leq 0,95d = 0,7/2 \left(1 + \sqrt{1 - 3,35 \cdot 0,017}\right) = 0,690 \text{ m} > \underline{0,665 \text{ m}}$$

Neitrālās ass dziļums:

$$x = 2,5(d - z) = 2,5(0,7 - 0,665) = 0,0875 \text{ m}$$

Tā kā $x < 1,25 h_f$ (plātnes augstums), tad aprēķinu veicu kā taisnstūra šķērsgriezumam saskaņā ar grāmatas „How to design concrete structures using EC 2” 27. lpp Figure 2 un 31. lpp. Figure 14.

Nepieciešamais stiegrojuma laukums.

$$A_s^{req} = \frac{M_{Ed}}{f_{yd} \cdot z} = \frac{411,806 \cdot 10^6}{260 \cdot 665} = 2382 \text{ (mm}^2\text{)}$$

Grāmatas „Design of concrete structure in EC 2”, 394. lpp. A. 1 tabulā atrodu nepieciešamo stieņu skaitu pie $\varnothing = 32$ mm.

Nepieciešamas 3 stiegras, kas nodrošina stiegrojuma laukumu $A_{s,prov} = 2410 \text{ mm}^2$.

Nosacījumi $A_{s,prov} \geq A_s^{req}$ izpildās.

3H32

Stiegrojuma laukuma pārbaude

$$A_{s,min} \leq A_{s,prov} \leq A_{s,max}$$

Minimālais pieļaujamais stiegrojuma šķērsriezuma laukums tiek aprēķināts pēc LVS EN 1992-1-1:2005

9.2.1.1. dotās formulas: $A_{s,min} = \frac{0,26 \cdot f_{ctm} \cdot b_t \cdot d}{f_{yk}}$, kur

f_{ctm} – aksiālās stiepes stiprības vidējā vērtība, $f_{ctm} = 0,3 \cdot f_{ck}^{(2/3)} = 2,21 \text{ MPa}$, pēc LVS EN 1992-1-1/3.1. tabulas.

$$A_{s,min} = \frac{0,26 \cdot 2,21 \cdot 375 \cdot 700}{300} = 502,78 \text{ (mm}^2\text{)}$$

Maksimāli pieļaujamo laukumu aprēķina pēc grāmatas „How to design concrete structures using Eurocode 2”, 19. lpp, vispirms nosakot betona šķērsriezuma laukumu.

$$A_c = b \cdot h = 375 \text{ (mm)} \cdot 750 \text{ (mm)} = 281250 \text{ (mm}^2\text{)}$$

$$A_{s,max} = 0,04 \cdot A_c = 0,04 \cdot 281250 = 11250 \text{ (mm}^2\text{)}$$

$$A_{s,min} = 502,78 \text{ (mm}^2\text{)} < A_{s,prov} = 2410 \text{ (mm}^2\text{)} < A_{s,max} = 11250 \text{ (mm}^2\text{)}$$

Stiegrojuma izvietojuma pārbaude

Solis starp stiegrām: $(375 - (2 \cdot 30) - 32) / 2 = 141,5 \text{ mm}$

Attālums starp stiegrām: $141,5 - 32 = 109,5 \text{ mm}$

Minimālais pieļaujamais attālums starp stiegrojumu:

= max (stiegru diametrs; pildvielas izmērs + 5mm, 20 mm)

= max (32; x ; 20 mm) \Rightarrow 32 mm

Tā kā attālums starp stiegrām ir lielāks kā minimāli pieļaujamais, tad stiegrojums ir atbilstošs un var tikt izmantots.

Garenstiegrojuma tabula malējām sijām

Laidums	M_{Ed} , kN·m	b_{eff1}	b_{eff2}	b_{eff}	k	z	A_s^{req} , mm ²	\varnothing , mm	skaitis, gab.	A_s^{prov} , mm ²	attālums, mm	Min, mm
AB, HI	411,806	1,122	1,122	2,619	0,016	0,665	2381,758	32	3	2410	109,5	32
BC, GH	172,692	0,792	0,792	1,959	0,009	0,665	998,797	32	1	804	129,5	32
								12	2	226		
CD, EG	205,159	0,792	0,792	1,959	0,011	0,665	1186,576	32	1	804	125,5	32
								16	2	402		
DE, EF	191,503	0,792	0,792	1,959	0,010	0,665	1107,594	32	1	804	125,5	32
								16	2	402		
Balsti												
B, H	490,181			0,375	0,133	0,610	3089,087	32	4	3220	62,3	32
C, G	358,671			0,375	0,098	0,637	2165,156	32	2	1610	68,3	32
								20	2	628		
D, F	394,537			0,375	0,107	0,630	2408,355	32	3	2410	109,5	32
E	382,582			0,375	0,104	0,632	2326,615	32	3	2410	109,5	32

Garenstierojuma tabula vidējām sijām

Laidums	M_{Ed} , kN·m	b_{eff1}	b_{eff2}	b_{eff}	k	z	A_s^{req}	\varnothing , mm	skaitis, gab.	A_s^{prov} , mm ²	attālums, mm	Min, mm
AB, HI	344,730	1,122	1,122	2,619	0,013	0,665	1993,81	32 16	2 2	1610 402	40,3	32
BC, GH	144,130	0,792	0,792	1,959	0,008	0,665	833,60	32 8	1 2	804 101	133,5	32
CD, EG	171,847	0,792	0,792	1,959	0,009	0,665	993,91	32 12	1 2	804 226	129,5	32
DE, EF	160,630	0,792	0,792	1,959	0,008	0,665	929,03	32 10	1 2	804 157	131,5	32
Balsti												
B, H	411,233			0,375	0,112	0,627	2523,68	32 25	2 2	1610 982	66	32
C, G	300,904			0,375	0,082	0,648	1785,55	32 12	2 2	1610 226	68,3	32
D, F	330,993			0,375	0,090	0,642	1981,49	32 16	2 2	1610 402	125,5	32
E	320,963			0,375	0,087	0,644	1915,76	32 16	2 2	1610 402	125,5	32

Piezīmes: k' vērtība visos raksturīgajos šķēlumos ir 0,21 un tā kā k ir mazāks par k' , tad stiegrojums spiestajā zonā nav nepieciešams.

Tā kā x visos gadījumos ir mazāks par $1,25h_v$, tad aprēķini tiek veikti pēc taisnstūra šķērsriezuma elementu aprēķina principa.

Minimālais un maksimālais stiegrojuma laukums visos gadījumos paliek nemainīgs, jo visos, un ir $A_{s,min} = 502,78^2$, bet $A_{s,max} = 11250 \text{ mm}^2$.

1.4.4. Šķērsstiegrojums

Šķērsstiegrojuma aprēķins tiek veikts pēc grāmatas „How to design concrete structures using EC 2” 28. lpp. Figure 5. Aprēķina piemērs tiek izstrādāts malējo siju balstam A:

Vispirms nosaka pielikās slodzes radīto šķērsvirziena bīdes spriegumu:

$$v_{Ed} = V_{Ed} / (0,9b_w d) = 215,203 \text{ kN} / (0,9 \cdot 375 \text{ mm} \cdot 700 \text{ mm}) = 0,911 \text{ MPa}$$

Maksimāli pieļaujamo bīdes spēku vērtību šķēlumā $v_{Rd,max}$ pie $\cot \theta = 2,5$ nosaka no Table 7. Dotajā gadījumā, kad betona cilindriskā spiedes stiprība ir 20 MPa, $v_{Rd,max}$ pie $\cot \theta = 2,5 = 2,54 \text{ MPa}$.

$$\text{Tā kā } v_{Ed} < v_{Rd}, \text{ tad } \frac{A_{sw}}{s} = \frac{v_{Ed} b_w}{f_{ywd} \cot \theta}$$

A_{sw} – šķērsspēku uzņemošā stiegrojuma šķērsriezuma laukums

s – slēgto aptveru atstarpes (attālumi);

f_{ywd} – šķērsspēku uzņemošā stiegrojuma tecēšanas robeža, $f_{ywd} = f_{yk} / 1,15 = 300 / 1,15 = 260,87 \text{ MPa}$;

$\cot \theta$ – spriegumu sadalījuma leņķis, pēc LVS EN 1992 -1 – 1 6.7 N punkta ieteicams robežās starp 1 un 2,5.

$$\frac{A_{sw}}{s} = \frac{0,911 \cdot 375}{260 \cdot 2,5} = 0,523$$

Minimālā šķērsspēku uzņemošā laukuma un aptveru attālumu attiecība: $\frac{A_{sw}}{s} = \rho_{w,min} b_w \sin \alpha$, kur

$$\rho_{w,min} = 0,08 \cdot f_{ck}^{0,5} / f_{yk} = 0,08 \cdot 20^{0,5} / 300 = 0,0012;$$

$\sin \alpha$ – leņķis starp šķērsstiegrojumu un garenasi, vertikālajam šķērsstiegrojumam = 1;

$$\frac{A_{sw}}{s} = 0,0012 \cdot 375 \cdot 1 = 0,45;$$

Maksimāli pieļaujamo soli nosaka no izteiksmes: $s_{l,max} = 0,75d = 0,75 \cdot 700 = 525 \text{ mm}$

Aprēķinam pieņemu stiegras ar \varnothing 10 mm un šķērsriezuma laukumu $A_{prov} = 157 \text{ mm}^2$, tātad:

$$\frac{157}{s} = 0,523 \Rightarrow s = 300 \text{ mm}$$

Aptverei tiek izvēlēts stiegrojums: 2H10@300 ($A_{sw}/s = 157/300=0,523$)

Malējo siju šķērsstiegrojuma (aptveru) tabula

Balsti	V_{Ed} , kN	v_{Ed} , MPa	A_{sw}/s	A_{sw} , mm^2	s_l , mm	Stiegrojums	$A_{sw,prov}$, mm^2	$(A_{sw}/s)_{prov}$
A,F	215,203	0,911	0,524	157	300	2H10@300	157	0,523
B,G	697,415	2,952	1,697	157	50	2H10@50	157	3,140
C,H	565,904	2,395	1,377	157	100	2H10@100	157	1,570
D,I	601,771	2,547	1,465	157	100	2H10@100	157	1,570
E	589,814	2,497	1,436	157	100	2H10@100	157	1,570

Vidējo siju šķērsstiegrojuma (aptveru) tabula

Balsti	V_{Ed} , kN	v_{Ed} , MPa	A_{sw}/s	A_{sw} , mm^2	s_l , mm	Stiegrojums	$A_{sw,prov}$, mm^2	$(A_{sw}/s)_{prov}$
A,F	181,666	0,769	0,442	157	350	2H10@350	157	0,449
B,G	587,337	2,486	1,429	157	100	2H10@100	157	1,570
C,H	477,007	2,019	1,161	157	100	2H10@100	157	1,570
D,I	507,097	2,146	1,234	157	100	2H10@100	157	1,570
E	497,066	2,104	1,210	157	100	2H10@100	157	1,570

Piezīmes: Maksimāli pieļaujamo bīdes spēku vērtību šķēlumā $v_{Rd,max}$ pie $\cot \theta = 2,5 = 2,54$ MPa;
 Minimālā šķērsspēku uzņemošā laukuma un aptveru attālumu attiecība $(A_{sw}/s)_{min} = 0,450$;
 Maksimāli pieļaujama solis $s_{l,max} = 525$ mm.

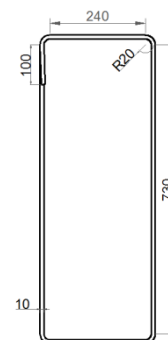
1.4.5. Izmantojamo aptveru skice

Aptverēm tiek izmantotas stiegras ar diametru 10 mm. Lai konstrukciju padarītu drošāku un tehnoloģiski vieglāk izveidojamu, kā arī mazinātu nelabvēlīgo ietekmi sakarā ar dažādajiem starpsiju laidumiem, aptveru pārlaidumu vietas jāveido atbilstoši skicēs norādītajām.

Aptveru iekšējā liekuma diametru stiegrām ar diametru ne lielāku par 16 mm, nosaka pēc formulas:

$$\varnothing_{min} = 4 \cdot \varnothing = 40 \text{ mm}, \text{ attiecīgi } R = 20 \text{ mm}.$$

Minimālo pārlaidumu nosaka no sakarības: $10 \cdot \varnothing \geq 70 \text{ mm} \Rightarrow 100 \text{ mm}$



Att. 1.4.1. Galvenās sijas aptveres skice

1.4.6. Lietojamības robežstāvoklis

Plaisu regulēšana

Plaisāšanas pārbaudi galvenajai sijai veic analogi iepriekš parādītajam šķērssiju risinājumam. Aprēķini tika veikti ar programmu MS Excel, un rezultāti ir apkopoti tabulā.

Plaisu tabula malējām sijām

Laidums	M _{ED} , kNm	Stiegrojums				x, mm	Stiepes spriegumi σ_s , MPa	h _{c,eff} , mm			A _{c,eff} , mm ²	$\rho_{p,eff}$	Plaisāšana				
		Stiegru ϕ , mm	Stiegru skaits, gab.	A _s ^{prov} , mm ²	Stiegru ϕ_{ep} , mm			2,5(h-d)	(h-x)/3	h/2			$\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}$	nosacījums	0.6 σ_s/E_s	S _{r,max} , mm	w _k , mm
AB, HI	411,806	32	3	2413	32	341	291,1	125	136,3	375	46875	0,0515	0,00132	>	0,00087	207,63	0,27
BC, GH	172,692	32	1	1030	23,4	249	271,7	125	167	375	46875	0,022	0,00109	>	0,00082	282,82	0,31
		12	2														
CD, EG	205,159	32	1	1206	24	265	278,1	125	161,7	375	46875	0,0257	0,00115	>	0,00083	260,75	0,3
		16	2														
DE, EF	191,503	32	1	1206	24	265	259,6	125	161,7	375	46875	0,0257	0,00106	>	0,00078	260,75	0,28
		16	2														
Balsti																	
B,H	490,181	32	4	3217	32	374	264,8	125	125,3	375	46875	0,0686	0,00121	>	0,00079	181,3	0,22
C,G	358,671	32	2	2236	27,4	332	272,2	125	139,3	375	46875	0,0477	0,00122	>	0,00082	199,65	0,24
		20	2														
D,F	394,537	32	3	2413	32	341	278,9	125	136,3	375	46875	0,0515	0,00126	>	0,00084	207,63	0,26
E	382,582	32	3	2413	32	341	270,4	125	136,3	375	46875	0,0515	0,00122	>	0,00081	207,63	0,25

Plaisu tabula vidējām sijām

Laidums	M _{ED} , kNm	Stiegrojums				x, mm	Stiepes spriegumi σ_s , MPa	A _{c,eff} , mm ²			A _{c,eff} , mm ²	$\rho_{p,eff}$	Plaisāšana				
		Stiegru ϕ , mm	Stiegru skaits, gab.	A _s ^{prov} , mm ²	Stiegru ϕ_{ep} , mm			2,5(h-d)	(h-x)/3	h/2			$\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}$	Stiegru ϕ_{ep} , mm	0.6 sigma/Es	S _{rmax}	2,5(h-d)
AB, HI	344,730	32	2	2010	26,7	320	289,1	125	143,3	375	46875	0,0429	0,00129	>	0,00087	207,8	0,27
		16	2														
BC, GH	144,130	32	1	905	24	237	256,5	125	171	375	46875	0,0193	0,00098	>	0,00077	313,4	0,31
		8	2														
CD, EG	171,847	32	1	1030	23,4	249	270,4	125	167	375	46875	0,022	0,00108	>	0,00081	282,82	0,31
		12	2														
DE, EF	160,630	32	1	961	23,5	242	269,9	125	169,3	375	46875	0,0205	0,00106	>	0,00081	296,88	0,31
		10	2														
Balsti																	
B,H	411,233	32	2	2590	28,9	349	272	125	133,7	375	46875	0,0553	0,00123	>	0,00082	190,84	0,23
		25	2														
C,G	300,904	32	2	1834	26,5	309	274,8	125	147	375	46875	0,0391	0,00121	>	0,00082	217,22	0,26
		12	2														
D,F	330,993	32	2	2010	26,7	320	277,5	125	143,3	375	46875	0,0429	0,00123	>	0,00083	207,8	0,26
		16	2														
E	320,963	32	2	2010	26,7	320	269,1	125	143,3	375	46875	0,0429	0,00119	>	0,00081	207,8	0,25
		16	2														

Piezīmes: Šķērsriezuma ģeometriskie izmēri: $h = 750$ mm, $b = 375$ mm, darbīgais augstums $d = 700$ mm; betona sekantes elastības modulis $E_{cm} = 30$ GPa; betona efektīvai elastības modulis $E_{c,eff} = 7,98$ GPa; $\alpha_e = 25,06$; $\alpha_e = 6,67$; $w_{max} = 0,4$ mm.

Normatīvās prasības uz maksimālo plaisu platumu visos šķērsriezumos ir izpildītas.

Izlieču pārbaude

Tiek veikta saskaņā ar iepriekš apskatītajām metodēm un apkopotie rezultāti redzami tabulā.

Izlieču tabula tabula galvenajām sijām

Raksturojums		Malējā	Vidējā
Lieces moments	M_{Ed} , kNm	411,806	344,73
Laidums	L, mm	6000	6000
Stieģrojuma daudzums	A_s , mm ²	2413	2010
Sijas platums	b_w , mm	375	375
Sijas augstums	h, mm	750	750
Inerces moments nesaplaisājušam šķēlumam	I_u , mm ⁴	13183593750	13183593750
Attālums līdz neitrālajai asij nesaplaisājušam šķēlumam	x_n , mm	375	375
Kritiskais lieces moments	M_{cr} , kNm	82,27	82,27
Koeficients	ξ	0,980	0,972
Betona elastības moduļu attiecība	α_e	25,06	25,06
Attālums līdz neitrālajai asij saplaisājušam šķēlumam	x_c , mm	341,0	320,0
Inerces moments saplaisājušam šķēlumam	I_c , mm ⁴	7351141383	6533937040
Deformācija no piepūlēm	$1/R_n$, 1/mm	6,79E-06	6,36E-06
Žūšanas rukuma deformācija	ϵ_{cd}	5,44E-04	5,44E-04
Autogēnā rukuma deformācija	ϵ_{ca}	1,63E-05	1,63E-05
Betona kopējā rukuma deformācija	ϵ_{cs}	5,60E-04	5,60E-04
Sijas statiskais moments nesaplaisājušam šķēlumam	S_u , mm ³	398145	331650
Sijas statiskais moments saplaisājušam šķēlumam	S_c , mm ³	480187	442200
Deformācija no betona rukuma	$1/R_{cs}$, 1/mm	4,34E-07	3,70E-07
Kopējā deformācija	$1/R_{t,Qp}$, 1/mm	7,22E-06	6,73E-06
Koeficients, kas atkarīgs no balstījumu un slogojumu veida	k	0,092	0,092
Izliece	f, mm	23,8	22,2
Pieļaujamā izliece	f_{max} , mm	24	24

Izlieces ir pieļaujamās robežās!

2. Kolonnas

2.1. Slodzes

Kolonnas aprēķins attiecās uz maksimāli slogoto kolonnu, kas atrodas projektējamās ēkas pagrabstāvā. Kolonnas augstums $h = 5050 \text{ mm}$ (skat. att. 2.1.2.), šķērsriezums $400 \times 400 \text{ mm}$.

Slodze uz pagrabstāva kolonnu tiek nodota no augšējām kolonnām, kā arī starpstāvu pārseguma pagrabstāva kolonnas augšgala līmenī.

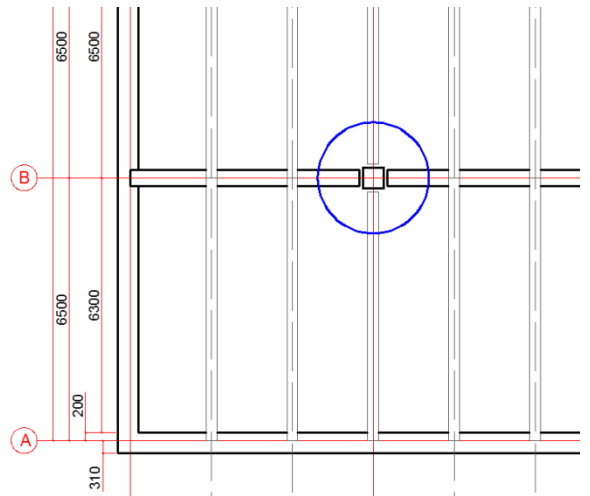
Siju nodotā slodze: $N_{sd} = 378,597 + 318,818 = 697,41 \text{ kN}$

Slodze no kolonnas pašvara: $N_{kd} = \gamma_G \cdot h^2 \cdot l \cdot \rho = 1,35 \cdot 0,4^2 \cdot 5,05 \cdot 25 = 27,27 \text{ kN}$

Rezultējošais spēks, kas darbojas uz pagrabstāva kolonnu:

$$N_{Ed} = (N_{sd} + N_{kd}) \cdot n = (697,41 + 27,27) \cdot 5 = 3623,39 \text{ kN}$$

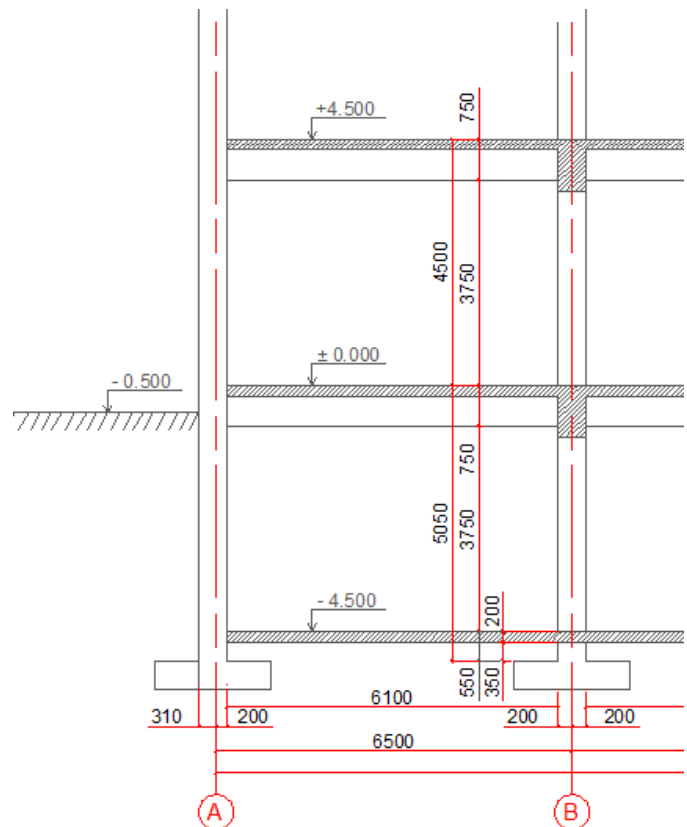
n – stāvu skaits



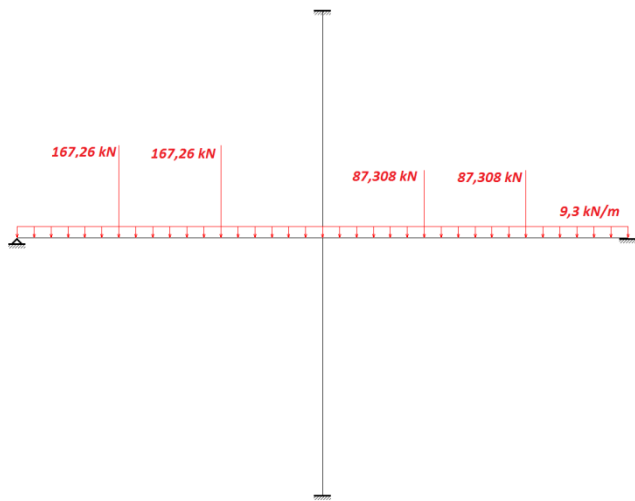
Att. 2.1.1. Aprēķināmā kolonna

2.2. Piepūles

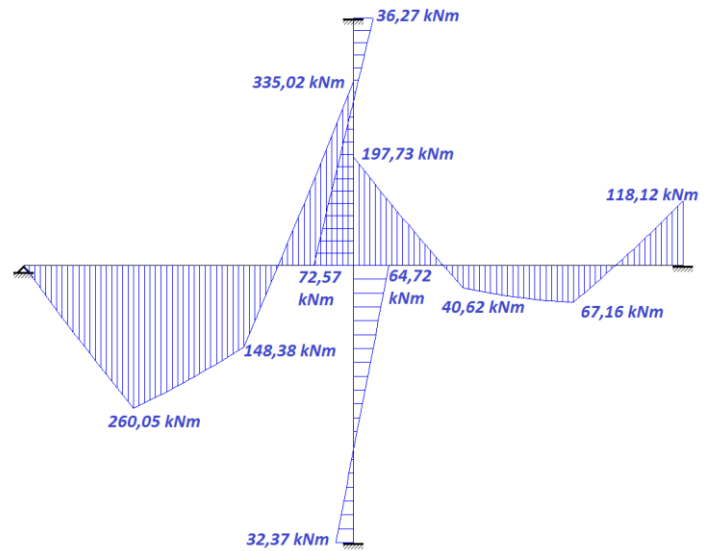
Lai noteiktu piepūles, kas darbojas kur kolonnu ir jāsummē visas pastāvīgās slodzes, kas atrodas virs dotās kolonnas un jāpieliek tās galvenajai sijai, savukārt ar lietderīgo slodzi jāsllogo tikai viena galvenās sijas daļā, tādējādi iegūstot lielāko lieces momentu. Šajā dadijumā aprēķina shēma apskatāma attēlā 2.2.1., bet iegūtās piepūles – attēlā 2.2.2. Tālākiem aprēķiniem nepieciešamas lieces momenta vērtības, kas veidojas kolonnas augšgalā, zem 1. stāva grīdas līmeņa un apakšgalā. $M_{top} = 64,72 \text{ kNm}$; $M_{bot} = 32,37 \text{ kNm}$.



Att. 2.1.1. Kolonnas ģeometriskie lielumi



Att. 2.2.1. Kolonnas aprēķina shēma



Att. 2.2.2. Lieces momenta vērtības kolonnā

2.3. Ugunsdrošības klase un aizsargslānis

Kolonnas ugunsizturības klasi pieņemu R 90, kas nozīmē, ka tā zaudē noturību pēc 90 minūšu tiešas uguns iedarbības. Aprēķins tiek veikts pēc „How to design concrete structures using Eurocode 2 34. lpp. Table 2”.

Nosacījumi:

- Garuma:

Efektīvais kolonnas garums: $l_0 = 0,5 \cdot 5,05 = 2,525 \text{ m}$.

Tā kā $2,525 \text{ (m)} \leq 3 \text{ (m)}$, tad $l_{0,fi} = 0,5 \cdot l \leq 3 \text{ (m)}$.

- Ekscentritātes:

$$e \leq e_{max}$$

$$e = \frac{M_{top}}{N_{Ed}} = \frac{64,72 \cdot 10^6}{3623,39 \cdot 10^3} = 17,82 \text{ mm}$$

$$e_{max} = 0,15 \cdot h = 0,15 \cdot 400 = 60 \text{ mm}$$

$$e = 17,82 \text{ mm} \leq e_{max} = 60 \text{ mm}$$

- Stieģrojuma daudzuma un izvietojuma

$\rho \leq 4\%$ – stieģrojuma daudzums;

$\mu_{fi} = 0,7$ – asspēka uzņemšanas koeficients uguns iedarbības apstākļos;

$b_{min} = 350 \text{ mm}$ – minimālais kolonnas platums;

$a_{nom} = 52 \text{ mm}$ – nominālais attālums no galvenā stieģrojuma ass līdz kolonnas ārējās virsmas malai.

$$a = c_{nom} + d_{aptv} + \frac{\phi}{2} = 40 + 8 + \frac{25}{2} = 60,5 \text{ mm} > 52 \text{ mm}$$

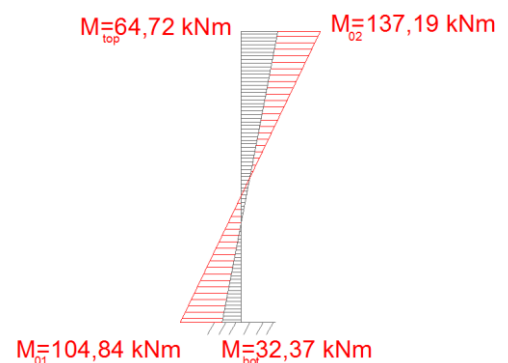
Nosacījumi izpildās! Kolonnas unugnsizturības klase R 90 ir nodrošināta.

2.4. Kolonnas momentu korekcija

Kolonnas efektīvais garums: $l_0 = 0,5 \cdot 5,05 = 2,525 \text{ m}$

Gadījuma ekscentritāte:

$$e_a = \max \left\{ \begin{array}{l} \frac{l_0}{400} = \frac{2525}{400} = 6,31 \\ \frac{h_k}{30} = \frac{400}{30} = 13,33 \\ 20 \text{ mm} \end{array} \right. = 20 \text{ mm}$$



Att. 2.4.1. Lieces moments kolonnā

$$N_{Ed} \cdot e_a = 3623,39 \cdot 0,02 = 72,468 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{01} = M_{bot} + N_{Ed} \cdot e_a = 32,37 + 72,47 = 104,84 \text{ kNm}$$

$$M_{02} = M_{top} + N_{Ed} \cdot e_a = 64,72 + 72,47 = 137,19 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

legūtos rezultātus var apskatīt attēlā 2.4.1.

2.5. Kolonnas slaidums (lokanums)

$$I = \frac{h^4}{12} = \frac{40^4}{12} = 213333,33 \text{ cm}^4$$

$$A = h^2 = 40^2 = 1600 \text{ cm}^2$$

$$i = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{213333,33}{1600}} = 11,55 \text{ cm}$$

Lokanums:

$$\lambda = \frac{l_0}{i} = \frac{252,5}{11,55} = 21,96$$

$$\lambda_{lim} = \frac{20 \cdot A \cdot B \cdot C}{\sqrt{n}}$$

$A = 0,7$ – Faktors, lai noteiktu robžlokanumu, kas atkarīgs no betona šļūdes;

$B = 1,1$ – Faktors, lai noteiktu robžlokanumu, kas atkarīgs no stiegrojuma daudzuma;

C – Faktors, lai noteiktu robžlokanumu, kas atkarīgs no galu lieces momentiem:

$$C = 1,7 - r_m$$

$$r_m = \frac{M_{01}}{M_{02}} = \frac{-104,84}{137,19} = -0,764 \text{ (Momenti darbojas pretējās pusēs)}$$

$$C = 1,7 - (-0,764) = 2,464$$

Relatīvais asspēks:

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

Betona spiedes stiprības aprēķina vērtība:

$$f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot f_{ck} / \gamma_c, \text{ kur}$$

γ_c – betona drošuma parciālais faktors (ilgstošām un ilglaicīgām situācijām – 1,5);

f_{ck} – 28 dienas veca betona cilindra raksturīgā spiedes stiprība (20 MPa);

α_{cc} – koeficients, kurš ievērtē ilglaicīga slogojuma ietekmi uz spiedes stiprību un nelabvēlīgos efektus, kas rodas no slodzes pielikšanas veida (rekomendējamā vērtība 1,0).

$$f_{cd} = \frac{20}{1,5} = 13,33 \text{ MPa}$$

$$n = \frac{N_{Ed}}{A_c \cdot f_{cd}} = \frac{3623,39 \cdot 10^3}{160000 \cdot 13,33} = 1,699$$

$$\lambda_{lim} = \frac{20 \cdot 0,7 \cdot 1,1 \cdot 2,464}{\sqrt{1,699}} = 29,11$$

$\lambda \leq \lambda_{lim} \rightarrow 21,96 < 29,11 \rightarrow$ Nosacījums izpildās!

Otrās kārtas efekti nav jāņem vērā $\Rightarrow M_{Ed} = M_{02} = 137,19 \text{ (kN} \cdot \text{m)}$

2.6. Kolonnas stiegrojums

2.6.1. Analītiskais aprēķins

Slodzes ekscentritāte:

$$e = \frac{M_{Ed}}{N_{Ed}} = \frac{137,19 \cdot 10^3}{3623,39} = 37,86 \text{ mm}$$

Kopējais aizsargslāņa biezums:

$$d_2 = c_{nom} + d_{aptv} + \frac{\varnothing_{st}}{2} = 40 + 8 + \frac{25}{2} = 60,5 \text{ mm}$$

Ekscentritātes apakšējās robežas lielums:

$$\left(\frac{h}{2} - d_2\right) = \frac{400}{2} - 60,5 = 139,5 \text{ mm}$$

$$e \geq \left(\frac{h}{2} - d_2\right) \Rightarrow 37,86 < 139,5$$

Tā nosacījums neizpildās, tad stiegrojuma aprēķins ar analītisko metodi nav iespējams.

2.6.1. Grafiskais aprēķins

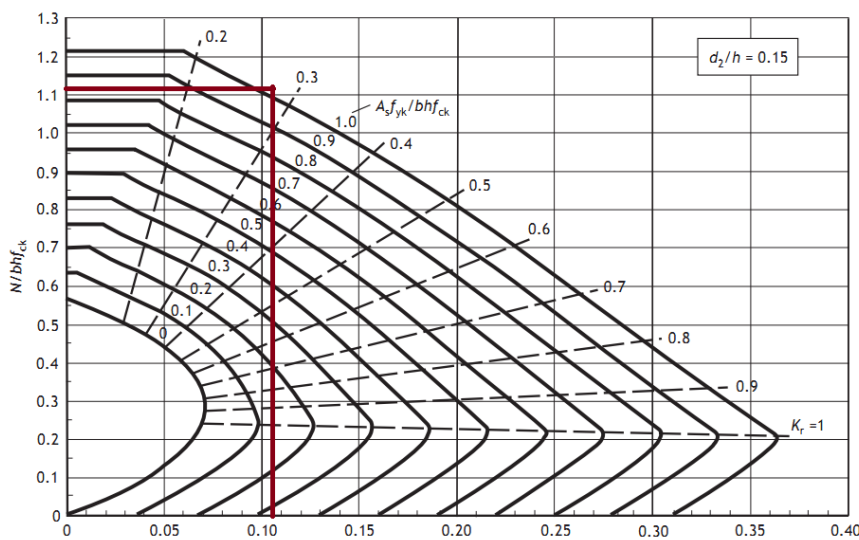
Nepieciešamo stiegrojumu var noteikt no attēla 2.6.1. pēc „How to design concrete structures using Eurocode 2” 39. lpp., zinot attiecību:

$$\frac{d_2}{h} = \frac{60,5}{400} = 0,15$$

Iedarbes raksturojošie relatīvie koeficienti:

$$N/bhf_{ck} = 3623,39 \cdot 10^3 / (160000 \cdot 20) = 1,13$$

$$M/bh^2f_{ck} = 137,19 \cdot 10^6 / (400^3 \cdot 20) = 0,107$$



Att. 2.6.1. Taisnstūra kolonnu aprēķina grafiks

$$\omega_{tot} = \frac{\bar{A}_s \cdot f_{yk}}{b \cdot h \cdot f_{ck}} = 0,9$$

$$A_s = \frac{0,9 \cdot b \cdot h \cdot f_{ck}}{f_{yk}} = \frac{1,0 \cdot 400 \cdot 400 \cdot 20}{300} = 9600 \text{ mm}^2$$

Pieņemu:

8 stiegras ar diametru $\varnothing = 40$ mm un $A_s = 10060 \text{ mm}^2$.

Minimālais nepieciešamais stiegrojuma laukums:

$$A_{s,min} = \max \left\{ \begin{array}{l} \frac{0,1N_{Ed}}{f_{yd}} = \frac{0,1 \cdot 3623,39 \cdot 10^3}{260} = 1393,6 \text{ mm}^2 \\ 0,002A_c = 0,002 \cdot 160000 = 320 \text{ mm}^2 \end{array} \right\} = 1393,6 \text{ mm}^2$$

Maksimālais stiegrojuma laukums:

$$A_{s,max} = 0,04 \cdot A_c = 6400 \text{ mm}^2$$

Tā kā nosacījums par maksimālo stiegrojuma laukumu neizpildās, tad jāpalielina kolonnas šķērsgriezums. Pieņemu kolonnas šķērsgriezumu $500 \times 500 \text{ mm}$. Iegūtie rezultāti ir apkopoti tabulā.

Kolonnas ar šķērsgriezumu
 $500 \times 500 \text{ mm}$ parametri.

b	500	mm
h	500	mm
N _{kd}	42,61	kN
N _{sd}	697,41	kN
N _{ed}	3700,1	kN
M _{top}	64,72	kNm
M _{bot}	32,37	kNm
l ₀	2,525	m
e	17,49	mm
e _{max}	75	mm
a	68	mm
e _a	20	mm
N _{ed} · e _a	74	kNm
M ₀₂	138,72	kNm
M ₀₁	106,37	kNm
I	520833	cm ⁴
A	2500	cm ²
i	14,43	cm
λ	17,49	
λ _{lim}	36,06	
d _z /h	0,14	
V _{Ed}	0,74	
μ _{Ed}	0,06	
w _{tot}	0,4	
A _s	6666	mm ²
A _{s,min}	1423,11	mm ²
A _{s,max}	10000	mm ²

Pieņemu stiegras:

4 stiegras ar diametru $\varnothing = 40 \text{ mm}$ un $A_s = 5030 \text{ mm}^2$

4 stiegras ar diametru $\varnothing = 25 \text{ mm}$ un $A_s = 1960 \text{ mm}^2$

Kopējais stiegru šķērsgriezuma laukums:

$$A_s = 5030 + 1960 = 6990 \text{ mm}^2$$

$$A_s = \begin{cases} 6990 > 6666 \\ 6990 < 10000 \end{cases} \Rightarrow \text{nosacījumi izpildās}$$

Šķērsvirziena stiegrojumu kolonnās pieņemu $\frac{1}{4}$ no garenvirziena stiegrojuma diametra $\Rightarrow \varnothing_{opt} = 10 \text{ mm}$.

Šķērsvirziena stiegrojuma solis kolonnas garuma virzienā nedrīkst pārsniegt $s_{cl,tmax}$. Rekomendējamā vērtība ir mazākā no trim sekojošiem attālumiem:

$$s_{cl,tmax} = \min \left\{ \begin{array}{l} 20 \cdot \varnothing_{st}^{min} = 20 \cdot 25 = 500 \text{ mm} \\ b = 500 \text{ mm} \\ 400 \text{ mm} \end{array} \right\} = 400 \text{ mm}$$

Pieņemu aptveres $\varnothing 10 \text{ B300}$ ar soli 400 mm (H10@400).

Solis jāsamazina, pārslaiduma savienojumu tuvumā ($s=200 \text{ mm}$). Pārslaiduma posmā ir jāizvieto vismaz 3 šķērsstiegras, tās vienmērīgi sadalot.

3. Pamatu konstrukcijas

3.1. Pamatu pēdas raksturlielumi

Betona spiedes stiprība: $f_{ck} = 25 \text{ N/mm}^2$;
 Stieģrojuma stiepes stiprība: $f_{yk} = 300 \text{ N/mm}^2$;
 Grunts aprēķinu pretestība: $R_0 = 0,43 \text{ MPa} = 430 \text{ kN/m}^2$.

3.2. Pamatu pēdas izmēri

Pamatu pēdai pielikto slodzi nosaka caur raksturīgo slodžu vērtībām, aprēķinot sijas balstu reakcijas uz kolonnām visos stāvos. Atsevišķi šādi nosaka gan pašvara slodzi, gan lietderīgo slodzi. Pamatu pēdai pieliktā slodze:

Pārseguma slodze: $719,55 \text{ kN}$
 Palīgsijau slodze: $656,96 \text{ kN}$
 Galvenās sijas slodze: $206,73 \text{ kN}$
 Kolonnas slodze: $136,35 \text{ kN}$
 Pieņemtā pamatu slodze: 200 kN
 Lietderīgā slodze: $799,5 \text{ kN}$

$$N = 1,0 \cdot G_k + 1,0 \cdot Q_k = 1,0 \cdot (1919,59) + 1,0 \cdot 799,5 = 2719 \text{ kN}$$

Pamata pēdas laukuma aprēķins:

$$A_{pēd.} = \frac{N}{R_0} = \frac{2719 \text{ kN}}{430(\text{kN/m}^2)} = 6,323(\text{m}^2)$$

Kvadrātveida pamata pēdas malu garumi:

$$A = B = \sqrt{A_{pēd.}} = \sqrt{6,323} \approx 2,52 \Rightarrow \text{pieņemu } A = B = 2,6 \text{ m}$$

$$A_{pēd.} = A \cdot B = 2,6^2 = 6,76 \text{ m}^2$$

Veicot tālākus aprēķinus atklājās, ka šāds pamatu pēdas izmērs nenodrošina grunts nestspēju (spriegumi zem pamatu pēdas pārsniedz grunts aprēķinu pretestību), tāpēc jāpalielina pamatu pēdas platums:

$$a = 3 \text{ m un } A_{pēd.} = a^2 = 3^2 = 9 \text{ m}^2$$

3.3. Grunts spiediens zem pamatu pēdas

Kolonnas nodotā slodze uz pamatu pēdu: $N_{Ed} = 3623,39 \text{ kN}$.

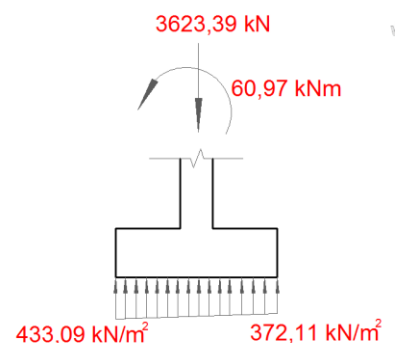
$$p = \frac{N_{Ed}}{B \cdot D} \pm \frac{6 \cdot M_{Ed}}{B \cdot D^2}$$

$$p_1 = \frac{N_{Ed}}{B \cdot D} + \frac{6 \cdot M}{B \cdot D^2} = \frac{3623,39}{3,0^2} + \frac{6 \cdot 137,19}{3,0^3} = 433,09 \text{ kN/m}^2$$

$$p_2 = \frac{N_{Ed}}{B \cdot D} - \frac{6 \cdot M}{B \cdot D^2} = \frac{3623,39}{3,0^2} - \frac{6 \cdot 137,19}{3,0^3} = 372,11 \text{ kN/m}^2$$

$$\frac{p_1}{R_0} = \frac{433,09}{430} = 1,0072$$

Tā kā spriegumu vērtība tiek pārsniegta tikai par 0,72%, tad ievērtējot visus | Att. 3.3.1. Pamata piepūļu shēma izmantoju šos pamatu pēdas ģeometriskos lielumus.



Lieces momenta radītā ekscentritēte nedrīkst pārsniegt pieļaujamo vērtību:

$$e \leq \frac{D}{6} \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} e = \frac{M_{Ed}}{N_{Ed}} = \frac{60,97}{3623,39} = 16,83 \text{ mm} \\ \frac{D}{6} = \frac{3000}{6} = 500 \text{ mm} \end{array} \right\} \Rightarrow 16,83 \text{ mm} < 500 \text{ mm}$$

3.4. Pamatu pēdas biezums

Pamatu pēdas darbīgais augstums:

$$d = -\frac{B_k + D_k}{4} + \frac{1}{2} \cdot \sqrt{\frac{N_{Ed}}{0,9 \cdot R_{bt} + p_{sp}}}$$

$$R_{bt} = R_0 = 0,43 \text{ (N/mm}^2\text{)};$$

$$p_{sp} = \frac{N_{Ed}}{A} = \frac{3623,39}{9,0} = 402,60 \text{ (kN/m}^2\text{)} - \text{spiediens uz pamatu pēdu};$$

B_k un D_k – kolonnas šķērss griezuma ģeometriskie raksturlielumi.

$$d = -\frac{0,5 + 0,5}{4} + \frac{1}{2} \cdot \sqrt{\frac{3623,39}{0,9 \cdot 430 + 402,6}} = -0,25 + 1,071 = 0,82 \text{ m}$$

Pamatu pēdas kopējais augstums:

$$h = d + c_{nom} + \frac{1}{2} \cdot \emptyset = 0,82 + 0,05 + \frac{1}{2} \cdot 0,016 = 0,878 \approx 0,9 \text{ m}$$

Pamatu pēdas biezums tiek pieņemts 1,0 m.

3.5. Pamatu pēdas šķērsspēka pārbaude

Lai pamatu pēdai būtu pietiekama pretestība šķērsspēku iedarbībai, jāizpildās nosacījumam:

$$V_{Ed}/V_{Rd} \leq 1,0$$

$$V_{Ed} = N_{Ed} = 3623,39 \text{ kN}$$

$$V_{Rd} = 0,5 \cdot u_{kol} \cdot d \cdot \left(0,6 \cdot \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right)\right) \cdot \frac{f_{ck}}{1,5} = 0,5 \cdot (4 \cdot 500) \cdot 942 \cdot \left(0,6 \cdot \left(1 - \frac{20}{250}\right)\right) \cdot \frac{20}{1,5} = 6933,1 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{Rd}} = \frac{3623,39}{6933,12} = 0,523 < 1,0 \Rightarrow \text{nosacījums izpildās!}$$

Slodžu izraisītais šķērsspēks nepārsniedz pamata pēdas bīdes pretestību.

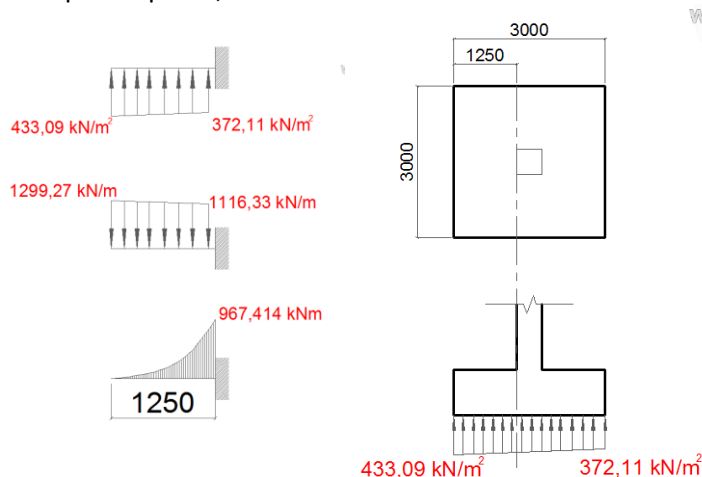
3.6. Pamatu pēdas stiegrojums

Kritisko lieces momentu, kas darbojas uz pamatu pēdas plātni, nosaka šķēlumā gar kolonnas skaldni (att. 3.6.1.). Par aprēķina shēmu pieņem konsoli – pamatu pēdas plātne iespīlētā kolonnā.

No virsmas slodzes vispirms pāriet uz lineāro slodzi, kas izkliedēta pa darinājuma (pamatu pēdu – konsoli), tad ar aprēķinu programmu AXISVM 10 iegūst lieces momenta vērtību.

Kritiskais moments, kas darbojas uz pamatu pēdu:

$$M_{Ed} = 967,42 \text{ kNm}$$



Att. 3.6.1. Kritiskā lieces momenta aprēķina shēma

3.6.1. Spiestā stiegrojuma nepieciešamības pārbaude

Spiestā stiegrojuma nepieciešamību nosaka pēc sakarības:

$$k \leq k'$$

Ja nevienādība izpildās, tad spiestais stiegrojums nav nepieciešams.

$$k = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{ck}}, \text{ kur}$$

M_{Ed} – kritiskais lieces moments, kas darbojas uz pamata pēdu (967,42 kNm);

b – pamatu pēdas platums (3 m);

d – pamatu pēdas darbīgais augstums (0,842 m);

f_{ck} – betona garantētā spiedes stiprība (20 MPa).

$$k = \frac{967,42}{3 \cdot 0,942^2 \cdot 20000} = 0,0187$$

$$k' = 0,60\delta - 0,18\delta^2 - 0,21 = 0,21$$

Pārbaude: $k \leq k' \Rightarrow 0,019 < 0,21 \Rightarrow$ izpildās.

Stiegrojums betona spiestajā zonā nav nepieciešams.

3.6.2. Stiegrojuma šķērsriezuma laukums

Iekšējo spēku pāra plecs:

$$z = 0,95 \cdot d = 0,95 \cdot 942 = 0,895 \text{ mm}$$

Stiegrojuma aprēķina stiprība:

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{300}{1,15} = 260 \text{ MPa}$$

Nepieciešamais stiegrojuma laukums:

$$A_s^{req} = \frac{M_{Ed}}{f_{yd} \cdot z} = \frac{967,42 \cdot 10^6}{260 \cdot 0,895} = 4157,37 \text{ mm}^2$$

3.6.3. Plaisu regulēšana

Atbilstoši apkārtējās vides iedarbības klasei $X0$, kas paredzama projektējamās ēkas ekspluatācijā, maksimālais plaisu platums saskaņā ar LVS NE 1992-1-1 7.1N tabulu ir $w_{max} = 0,4 \text{ mm}$.

Spriegumu stiegrojumā pie plaisu regulēšanas nosaka no kvazi – pastāvīgu slodžu iedarbības pēc sakarības:

$$f_s = \frac{f_{yk} \cdot (G_k + \psi_2 \cdot Q_k)}{1,15 \cdot (1,35 \cdot G_k + 1,5 \cdot Q_k)} = \frac{300 \cdot (1919,59 + 0,3 \cdot 799,5)}{1,15 \cdot (1,35 \cdot 1919,59 + 1,5 \cdot 799,5)} = 148,61 \text{ MPa}$$

Pēc grāmatas „Mosley design of concrete structures in EC 2” 6.7 un 6.9.tabulas nosaka maksimāli pieļaujamo stiegrojuma izvietojuma soli s_{max} un diametru \emptyset_{max} pie iegūtā sprieguma stiegrojumā $f_s = 148,61 \text{ (N/mm}^2\text{)}$.

$$s_{max} = 300 \text{ mm}$$

$$\emptyset_{max} = 32 \text{ mm}$$

3.6.4. Stiegrojuma noteikšana

No stiegru sortimenta izvēlos stiegras ar diametru $\emptyset = 20 \text{ mm}$. Lai nostiegotu pamatu pēdu, ir nepieciešamas 14 stiegras. $A_{s,prov} = 4400 \text{ mm}^2 > A_s^{req} = 4157,37 \text{ mm}^2$.

Lai izvietotu 14 šādas stiegras pamatu pēdas konstrukcijā, nepieciešamais stiegrojuma solis ir:

$$s = \frac{B - 2 \cdot c_{nom}}{n} = \frac{3000 - 2 \cdot 50}{14} = 207 \text{ mm}$$

Stiegrojuma soli s pieņemu 205 mm, līdz ar ko c_{com} palielinu līdz 65 mm.

Pieņemtā stiegrojuma pārbaudes:

$$A_{s,min} \leq A_{s,prov} \leq A_{s,max}$$

Minimālais pieļaujamais stiegrojuma šķērsriezuma laukums:

$$A_{s,min} = \frac{0,26 \cdot f_{ctm} \cdot b \cdot d}{f_{yk}} = \frac{0,26 \cdot 2,21 \cdot 3000 \cdot 942}{300} = 5412,73 \text{ mm}^2$$

Maksimāli pieļaujamais stiegrojuma šķērsriezuma laukums:

$$A_{s,max} = 0,04 \cdot A_c = 0,04 \cdot 3000^2 = 360000 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,min} = 5412,73 \text{ mm}^2 < A_{s,prov} = 4400 \text{ mm}^2 < A_{s,max} = 360000 \text{ mm}^2$$

Nosacījums ir izpildīts – stiegrojums atbilst konstruktīvajām prasībām.

3.7. Pamatu pēdas caurspiešana

Lai kolonnu necaurspiestu pamatu pēdas plātņi, jābūt spēkā sekojošai sakarībai:

$$v_{Ed} \leq v_{Rd,c}$$

$$v_{Ed} = \frac{V_{Ed}}{k_p \cdot d'}$$
 kur

v_{Ed} – caurspiešanas spriegums;

k_p – kritiskais perimetrs;

V_{Ed} – caurspiešanas spēks.

$$k_p = u_{kol} + 4 \cdot \pi \cdot d = 500 \cdot 4 + 4 \cdot 3,14 \cdot 942 = 13837,5 \text{ mm}$$

$$A_{caurisp} = (400 + 4d)^2 - (4 - \pi)(2,0d)^2 = (400 + 4 \cdot 942)^2 - (4 - 3,14)(2 \cdot 942)^2 = 5184707,76 \text{ mm}^2$$

$$V_{Ed} = p_1 \cdot (A + A_{caurisp}) = 433,09 \cdot (3,0^2 + 5,185) = 6143,26 \text{ kN}$$

$$v_{Ed} = \frac{6143,26 \text{ kN}}{13837,5 \text{ mm} \cdot 942 \text{ mm}} = 0,47 \text{ MPa}$$

$$v_{Rd,c} = 0,12 \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_1 \cdot f_{ck})^{\frac{1}{3}} \geq 0,035 \cdot k^{1,5} \cdot f_{ck}^{0,5}$$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{942}} = 1,46 \leq 2$$

$$\rho_1 = \sqrt{\rho_{iy} \cdot \rho_{iz}} \Rightarrow \rho_{iy} = \rho_{iz} = \frac{A_{s,prov}}{b \cdot d} = \frac{4400}{3000 \cdot 942} = 0,16\% \Rightarrow \rho_1 = 0,16\%$$

$$v_{Rd,c} = 0,12 \cdot 1,46 \cdot (100 \cdot 0,156 \cdot 20)^{\frac{1}{3}} = 1,19 \text{ MPa}$$

$$0,035 \cdot k^{1,5} \cdot f_{ck}^{0,5} = 0,035 \cdot 1,46^{1,5} \cdot 20^{0,5} = 0,28 \text{ MPa}$$

$$v_{Rd,c} = 1,19 \text{ MPa} > 0,28 \text{ MPa}$$

Līdz ar to:

$$v_{Ed} = 0,47 \text{ MPa} \leq v_{Rd,c} = 1,19 \text{ MPa}$$

Vertikālais stiegrojums nav nepieciešams!

4. Mūris

4.1. Virszemes mūra sienas aprēķins

4.1.1. Jumta konstrukcijas slodzes

Paredzēts sekojoša jumta konstrukcija un tai atbilstošās slodzes:

Nr. p. k.	Virsmas slodzi veidojošas sastāvdaļas un to raksturojumi	Slodzes raksturīgā normatīvā vērtība $g_{k\alpha}$ kN/m ²	Slodzes drošuma koeficients y_F	Slodzes aprēķina vērtība $g_d = g_k \cdot y_F$, kN/m ²
Pastāvīgā slodze				
1.	Ruukki SP2C PU jumta	0,130	1,35	0,18
2.	Z - metāla profils	0,080	1,35	0,11
3.	Tērauda kopne	AXISVM 10	1,35	AXISVM 10
Iedarbes				
4.	Sniega slodze	1,280	1,5	1,92
5.	Vēja slodze	0,783	1,5	1,18
	Kopā	2,273		3,39

Piezīmes: Ārējās iedarbes ņemtas atbilstoši celtniecības vietai (Nereta), pēc LBN 003-01 „Būvklimaloģija”.
Konstrukcijas pašvara aprēķins veikts ar programmu AXIS VM 10.

Sniega slodzes noteikšana (pēc LVS EN 1991-1-3):

$s = \mu_i C_e C_t s_k$, kur:

$s_k = 1,6$ (kN/m²) – sniegs slodzes raksturīgā vērtība uz zemes virsmas (novietojums – Nereta; vērtību iegūst, interpolējot starp LBN 003-01 dotās sniega slodžu kartes izolīnijām);

$C_e = 1,0$ – iedarbības jeb ekspozīcijas koeficients (ievērtē teritorijas attīstības tendences nākotnē, raksturojot vēja iedarbību uz būvi; rekomendējama vērtība);

$C_t = 1,0$ – termiskais koeficients (ievērtē sniega kušanas iespējamību uz paaugstinātas siltumcaurlaidības jumtiem; rekomendējama vērtība);

$\mu_i = 0,8$ – jumta formas koeficients (ievērtē jumta formas ietekmi uz sniega uzkrāšanos uz jumta; tā kā projektējamai ēkai paredzētas apmales uz jumta, lai sniegs nekristu virsū gājējiem ap ēku, tad minimālā rekomendējamā koeficienta vērtība ir 0,8).

$$s = \mu_i C_e C_t s_k = 0,8 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,6 = 1,28 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

Vēja slodzes noteikšana (pēc LVS EN 1991-1-4):

$$w_{ek} = c_e(z_e) \cdot q_b \cdot c_{pe}$$

$z_e = 25,0$ (m) - ēkas jumta kores references augstums,

$c_e(z_e) = 2,4$ - ekspozīcijas faktors konkrētajā atskaites līmenī (pieņemot, III apvidus kategoriju),

$q_b = 0,24$ (kN/m²) - vēja spiediena pamatvērtība (attiecinājā reģionā – Kolka – vērtību iegūst, interpolējot starp LBN 003 - 01 dotās vēja spiedienu pamatvērtību kartes izolīnijām),

$c_{pe} = 1,36$ - aerodinamiskais koeficients (ievērtē jumta formas ietekmi uz vēja slodzes lielumu).

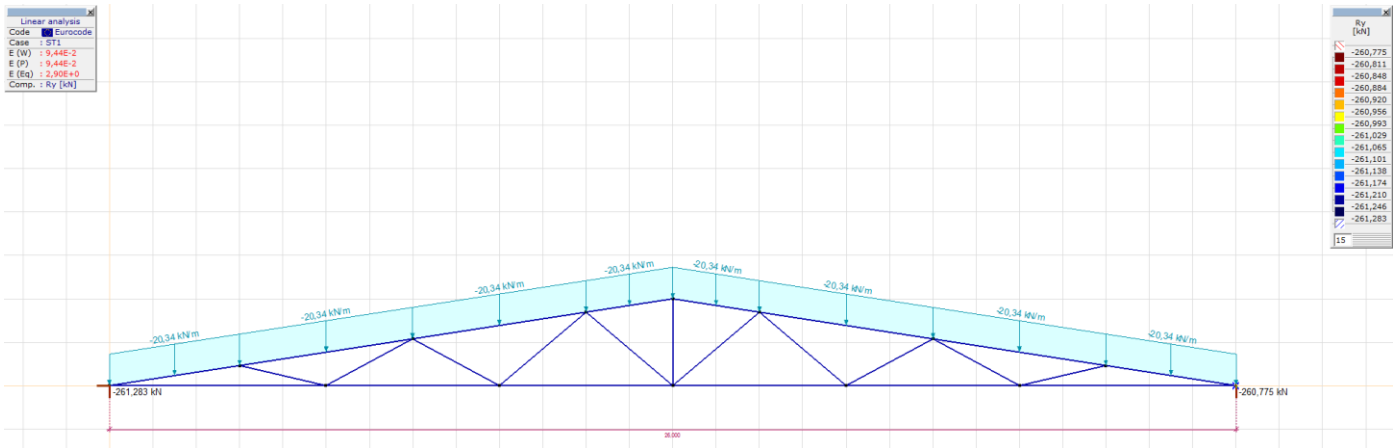
$$w_{ek} = c_e(z_e) \cdot q_b \cdot c_{pe} = 2,4 \cdot 0,24 \cdot 1,36 = 0,783 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

Lineārās slodzes noteikšana uz tērauda kopni:

$$q_d = g_d \cdot B = 3,39 \cdot 6 = 20,34 \text{ (kN/m)}$$

Šāda lineāra, izkliedēta slodze tiek pielikta trijstūra divslīpju tērauda kopnei. Kopne ir veidota no dažāda lieluma kvadrātaurulēm un tās pašvaru ierēķina aprēķinu programma. Kopnes dimensijas izvēlētas tā, lai tiktu izpildīts lietojamības robežstāvokļa nosacījums kopnes vidū:

$$\delta \leq \left[\frac{L}{250} \right]$$



Att. 4.1.1. Iedarbes uz mūri no jumta kopnes

Koncentrētā slodze uz mūri zem kopnes ir $N = 261,28 \text{ kN}$

4.1.2. Vertikālās slodzes noteikšana uz mūri 1. stāva līmenī

Mūris paredzēts no kalcija silikāta celtniecības ķieģeļiem ar izmēriem $250 \times 120 \times 65 \text{ mm}$. Mūra biezums – divu ķieģeļu biezums (510 mm). Ķieģeļa īpatnējais svars ir:

$$\gamma_k = 1800 \text{ kg/m}^3 = 18 \text{ kN/m}^3$$

Slodzes uz 1. stāva mūri:

- Slodze no jumta kopnes: $N_1 = 261,28 \text{ (kN)}$
- Slodze no pārsegumu sijām: $N_2 = N_p \cdot n = 72,774 \cdot 5 = 363,87 \text{ (kN)}$
- Slodze no mūra sienas pirmā stāva līmenī:

$$N_s = l_{j,v} \cdot t_s \cdot h_s \cdot \gamma_s \cdot \gamma, \text{ kur}$$

$l_{j,v}$ – aprēķina joslas vidējais platums;

t_s – sienas biezums;

h_s – joslas augstums;

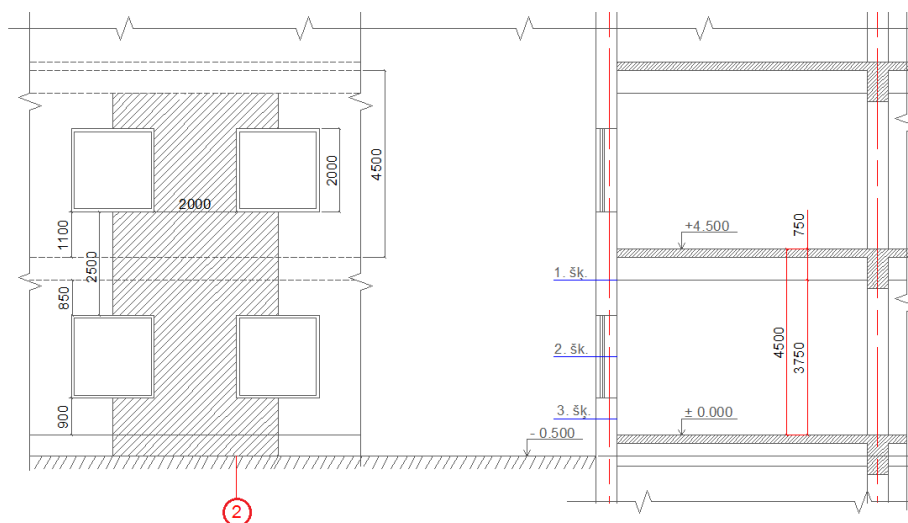
γ_s – sienas materiāla (māla ķieģeļu) īpatnējais svars;

γ – parciālais faktors.

- Virs logiem: $N_{S,1} = 4 \cdot 0,51 \cdot 1,65 \cdot 18 \cdot 1,35 = 81,794 \text{ (kN)}$
- Starp logu ailām: $N_{S,2} = 2 \cdot 0,51 \cdot 2 \cdot 18 \cdot 1,35 = 49,57 \text{ (kN)}$
- Zem logiem: $N_{S,3} = 4 \cdot 0,51 \cdot 0,85 \cdot 18 \cdot 1,35 = 42,14 \text{ (kN)}$

- Slodze no augstāk esošo stāvu mūra sienām:

$$N_3 = (N_{S,1} + N_{S,2} + N_{S,3}) \cdot n = (81,794 + 49,57 + 42,14) \cdot 4 = 694 \text{ (kN)}$$



Att. 4.1.2. Mūra aprēķina skice

Slodzes, kas darbojas katrā no pirmā stāva mūra sienas šķēlumiem:

- 1. šķēlumā (*Palīgsijas līmenī*):

$$N_{Ed1} = N_1 + N_2 + N_3 = 261,28 + 363,87 + 694 = 1319,15 \text{ (kN)}$$

- 2. šķēlumā (*1,8 m no 1. šķēluma*):

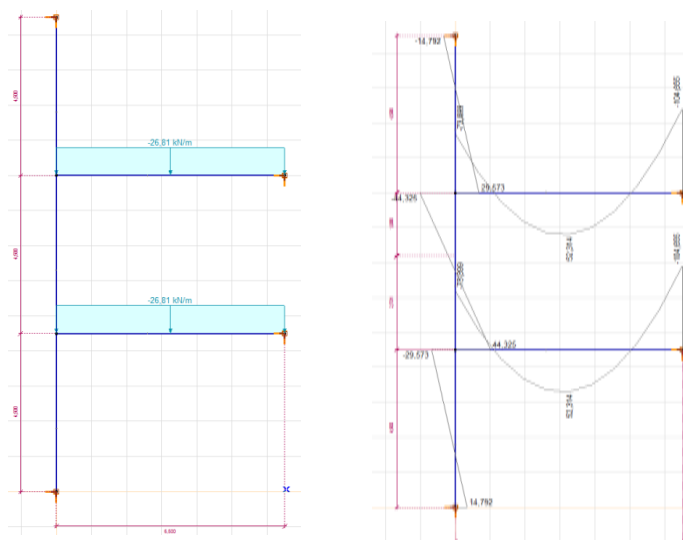
$$N_{Ed2} = N_{Ed1} + N_{S,1} + \frac{N_{S,2}}{2} = 1319,15 + 81,794 + 24,76 = 1422,70 \text{ (kN)}$$

- 3. šķēlumā (*grīdas līmenī*):

$$N_{Ed3} = N_{Ed1} + N_{S,1} + N_{S,2} + N_{S,3} = 1492,67 \text{ (kN)}$$

4.1.3. Lieces momentu noteikšana mūra raksturīgajos šķēlumos

Ar programmas *AXISVM 10* tiek noteiktas lieces momenta vērtības iepriekš apskatītajos šķēlumos:



Att. 4.1.2. Mūra aprēķina shēma

Starpstāvu pārsegumu slodžu nodošanas ekscentricitātes rādīts lieces moments:

$$M_{exc} = N_2 \cdot 0.125 = 363,87 \cdot 0.125 = 46,11 \text{ (kNm)}$$

Lieces momentu vērtības mūra sienas šķēlumos:

- 1. šķēlumā: $M_{Ed,1} = 44,325 + 46,11 = 90,46 \text{ (kNm)}$
- 2. šķēlumā: $M_{Ed,2} = 8,865 + 46,11 = 54,975 \text{ (kNm)}$
- 3. šķēlumā: $M_{Ed,3} = 44,325 - 46,11 = -1,785 \text{ (kNm)}$

4.1.4. Mūra sienas nestspējas aprēķins

Sienas efektīvais augstums:

$$h_{ef} = h \cdot \mu = 4,5 \cdot 1 = 4,5 \text{ (m)}$$

$\mu = 1,0$ – koeficients, kas atkarīgs no galu nostiprinājumiem.

Sienas reducētais slaidums (pēc LVS EN 1996-1-1 5.5.1.4.p):

$$\lambda = \frac{h_{ef}}{t_{ef}} = \frac{4,5}{0,51} = 8,82 < 27$$

$t_{ef} = 0,51 \text{ (m)}$ – sienas efektīvais biezums.

Vertikālās slodzes aprēķina ekscentricitāte sienas augšā un apakšā (6.1.2.2.p):

$$e_i = \frac{M_{id}}{N_{id}} + e_{he} + e_{init}$$

M_{id} – lieces momenta aprēķina vērtība sienas augšgalā vai apakšgalā;

N_{id} – vertikālās slodzes aprēķina vērtība sienas augšgalā vai apakšgalā;

e_{he} – horizontālo slodžu izraisīta ekscentricitāte sienas augšgalā vai apakšgalā, ja tāda novērojama (pieņemts $e_{he} = 0$);

e_{init} – sākotnējā ekscentricitāte (p. 5.5.1.1.).

$$e_{init} = \frac{h_{ef}}{450} = \frac{4,5}{450} = 10 \text{ (mm)}$$

Vertikālās slodzes aprēķina ekscentricitāte:

- 1. šķēlumā: $e_1 = \frac{90,46 \text{ (kNm)}}{1319,15 \text{ (kN)}} + 0 + 10 \text{ (mm)} = 0,079 \text{ (m)}$
- 3. šķēlumā: $e_3 = \frac{-1,785 \text{ (kNm)}}{1492,67 \text{ (kN)}} + 0 + 10 \text{ (mm)} = 0,001 \text{ (m)}$

Vertikālās slodzes aprēķina ekscentricitāte sienas vidū (6.1.2.2.p):

$$e_i = e_{mk} = e_m + e_k$$

$$e_m = \frac{M_{md}}{N_{md}} + e_{hm} + e_{init}$$

M_{md} – lielākā momenta aprēķina vērtība sienas augstuma vidū,

N_{md} – vertikālās slodzes aprēķina vērtība sienas augstuma vidū,

e_{hm} – horizontālu slodžu izraisīta ekscentricitāte sienas augstuma vidū (pieņemts $e_{he} = 0$),

e_{init} – sākotnējā ekscentricitāte (p. 5.5.1.1.),

e_k – ekscentricitāte šļūdes dēļ.

$$e_k = \frac{h_{ef}}{t_{ef}} = \frac{4,5}{0,51} = 8,82 < \lambda_c = 15 \rightarrow e_k = 0$$

Vertikālās slodzes aprēķina ekscentricitāte:

- 2. šķēlumā:

$$e_2 = \left(\frac{M_{md}}{N_{md}} + e_{hm} + e_{init} \right) + e_k = \left(\frac{54,98 \text{ (kNm)}}{1422,70 \text{ (kN)}} + 0 + 10 \text{ (mm)} \right) + 0 = 0,0486 \text{ (m)}$$

Nestspēju samazinošais faktors sienas augšgalā un apakšgalā (6.1.2.2.p):

- 1. šķēlums: $\Phi_1 = 1 - 2 \cdot \frac{e_1}{t_{ef}} = 1 - 2 \cdot \frac{0,079 \text{ (m)}}{0,51 \text{ (m)}} = 0,69$
- 3. šķēlums: $\Phi_3 = 1 - 2 \cdot \frac{e_3}{t_{ef}} = 1 - 2 \cdot \frac{0,001 \text{ (m)}}{0,51 \text{ (m)}} = 0,996$

Nestspēju samazinošais faktors sienas vidū (G pielikums):

- 2. šķēlums: $\Phi_2 = A_1 \cdot e^{-\frac{u^2}{2}}$

$$A_1 = 1 - 2 \cdot \frac{e_{mk}}{t_{ef}} = 1 - 2 \cdot \frac{0,0486 \text{ (m)}}{0,51 \text{ (m)}} = 0,81$$

$$u = \frac{\frac{h_{ef}}{t_{ef}} - 2}{23 - 37 \cdot \frac{e_{mk}}{t}} = \frac{\frac{4,5}{0,51} - 2}{23 - 37 \cdot \frac{0,0486}{0,51}} = 0,35$$

$$\Phi_2 = A_1 \cdot e^{-\frac{u^2}{2}} = 0,81 \cdot 2,72^{-\frac{0,35^2}{2}} = 0,76$$

Mūrjavas spiedes stiprības noteikšana:

Mūrēšanai izmantot vispārējās lietošanas (*smilšu-cementa vai smilšu-cementa-kaļķu*) M7,5 markas mūrjavu ar spiedes stiprību $f_m = 7,5 \text{ (N/mm}^2\text{)}$

Konstruktīvo ierobežojumu pārbaude pie vispārējās lietošanas mūrjavas izmantošanas (LVS EN 1996-1-1 p.3.6.1.2.(2)):

$$f_b \leq 75 \text{ N/mm}^2$$

f_b –elementa normalizētā vidējā spiedes stiprība pieliktās iedarbes efekta virzienā (10 N/mm^2)

$$2f_b \geq f_m \leq 20 \text{ N/mm}^2$$

Mūra raksturīgas spiedes stiprības noteikšana:

Mūra raksturīga spiedes stiprība f_k nestiegrotam mūrim, kas izgatavots ar vispārējās lietošanas mūrjavu ar horizontālas šuves biežumu > 3 (mm):

$$f_k = K \cdot f_b^{0,7} \cdot f_m^{0,3}, \text{ kur}$$

f_k – mūra raksturīgā spiedes stiprība;

K – konstante, kas pieņemta saskaņā ar LVS NE 1996-1-1 3.3. tabulu (0,55).

$$f_k = 0,55 \cdot 10^{0,7} \cdot 7,5^{0,3} = 5,05 \text{ MPa}$$

Mūra nestspējas noteikšana:

$$N_{Ed} \leq N_{Rd}$$

$$N_{Rd} = \Phi_i \cdot f_d \cdot A$$

$$f_d = \frac{f_k}{\gamma_m} = \frac{8,196}{1,5} = 5,464 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

Mūra nestspēja:

- 1. šķēlumā:

$$N_{Rd} = \Phi_1 \cdot f_d \cdot A = 0,69 \cdot 5,05 \text{ (N/mm}^2\text{)} \cdot (4000 \text{ (mm)} \cdot 510 \text{ (mm)}) = 6969 \text{ (kN)}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} = \frac{1319,15}{6969} = 0,18 < 1,0 \Rightarrow \text{Nosacījums izpildās! (82\% rezerve)}$$

- 2. šķēlumā:

$$N_{Rd} = \Phi_2 \cdot f_d \cdot A = 0,76 \cdot 5,05 \left(\frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right) \cdot (2000 \text{ (mm)} \cdot 510 \text{ (mm)}) = 3914,76 \text{ (kN)}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} = \frac{1422,70}{3914,76} = 0,36 < 1,0 \Rightarrow \text{Nosacījums izpildās! (64\% rezerve)}$$

- 3. šķēlumā:

$$N_{Rd} = \Phi_1 \cdot f_d \cdot A = 0,996 \cdot 5,05 \text{ (N/mm}^2\text{)} \cdot (4000 \text{ (mm)} \cdot 510 \text{ (mm)}) = 10261 \text{ (kN)}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} = \frac{1492,67}{10261} = 0,145 < 1,0 \Rightarrow \text{Nosacījums izpildās! (85\% rezerve)}$$

Mūra nestspēja ir pietiekoša, bet tā kā rezerve ir ievērojama, tad iespējams samazināt sienas biežumu vai arī palielināt ailu laukumus.

4.2. Pagrabstāva mūra sienas aprēķins

Reducētās gruntskārtas biežums:

$$H_{red} = \frac{p}{\gamma_p} \Rightarrow H_{red} = \frac{2}{18} = 0,11 \text{ m}$$

H_{red} – reducētais grunts slāņa biežums;
 p – slodze, kas darbojas uz grunti.

Grunts spiediens uz sienu:

$$q_1 = \gamma_F \gamma_p \left(\frac{\gamma_F}{\gamma_G} H_{red} \cdot \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right) \right)$$

γ_p – grunts tilpummasa;

γ_F – slodzes stiprības rezerve uz grunts virsmu;

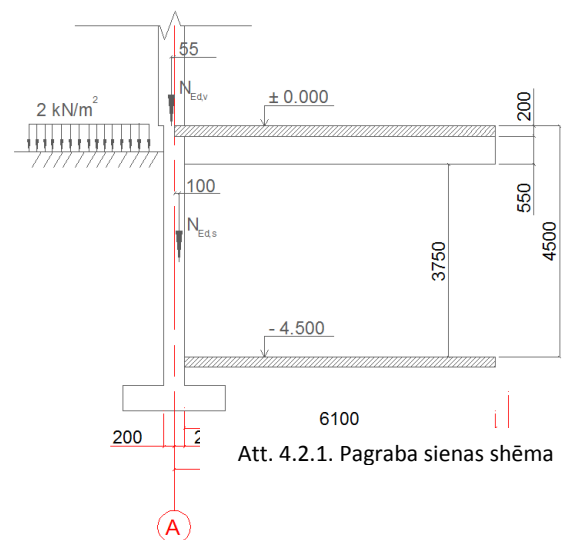
γ_G – grunts slodzes stiprības rezerves koeficients;

φ – grunts iekšējās berzes leņķis.

$$q_1 = 1,5 \cdot 18 \left(\frac{1,5}{1,0} \cdot 0,11 \cdot \tan^2 \left(45 - \frac{30}{2} \right) \right) = 0,99 \text{ kN/m}^2$$

$$q_2 = \gamma_F \gamma_p \left(\left(\frac{\gamma_F}{\gamma_G} H_{red} + H_2 \right) \cdot \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right) \right)$$

H_2 – augstums no pamatu pēdas līdz grunts līmenim (4,55 m);



Att. 4.2.1. Pagrabstāva sienas shēma

$$q_2 = 1,5 \cdot 18 \left(\left(\frac{1,5}{1,0} 0,11 + 4,55 \right) \cdot \tan^2 \left(45^\circ - \frac{30}{2} \right) \right) = 42,435 \text{ kN/m}^2$$

Momenta grunts spiediens:

$$M_{qV(x)} = 1/6 \left\{ \frac{H_2^2}{H_1} (2q_1 + q_2)x - \left[3q_1 + (q_2 - q_1) \frac{x - H_1 + H_2}{H_1} \right] (x - H_1 + H_2)^2 \right\}$$

$M_{qV(x)}$ – vertikālais spēka moments sienā no grunts spiediena;

H_1 – pagraba stāva augstums;

q_1 un q_2 – grunts spiediens uz sienu;

x – dziļums pie kura tiek noteikts grunts spiediena moments.

$$M_{qV(2,275)} = \frac{1}{6} \left(\frac{4,55^2}{5,05} \cdot (2 \cdot 0,99 + 42,44) \cdot 2,275 - \left[3 \cdot 0,99 + (42,44 - 0,99) \cdot \frac{2,275 - 5,05 + 4,55}{5,05} \right] \cdot (2,275 - 5,05 + 4,55)^2 \right) = 60,91 \text{ kNm}$$

Spēka momenti:

$$M_1 = N_1 \cdot e_1 \quad \Rightarrow \quad M_1 = 1128,78 \cdot 0,055 = 62,1 \text{ kNm}$$

$$M_Q = N_Q \cdot e_Q \quad \Rightarrow \quad M_Q = 363,87 \cdot 0,1 = 36,6 \text{ kNm}$$

M_1 – moments, kas rodas no sienas pašsvara spiediena;

M_Q – moments, kas rodas no pārseguma pašsvara;

N_1 – slodze, ko rada sienas pašsvars;

N_1 – slodze, ko rada pārseguma pašsvars;

e_1 – ekscentricitāte no sienas pašsvara novietojuma;

e_Q – ekscentricitāte, no pārseguma novietojuma.

Summārais spēka moments:

$$M_{sum} = M_{qV(x)} + \frac{(M_1 - M_Q) \cdot h_1}{H_1}$$

M_{sum} – summārais lieces moments;

h_1 – attālums no grīdas līdz maksimālā lieces momenta ekstrēmam.

$$M_{sum} = 60,91 + \frac{(62,1 - 36,6) \cdot 1,725}{5,05} = 69,62 \text{ kNm}$$

Summārā spēka ekscentricitāte:

$$e_0 = \frac{M}{N} \quad \Rightarrow \quad e_0 = \frac{69,62}{1492,65} = 0,046 \text{ m}$$

e_0 – kopējā spēka ekscentricitāte;

N – kopējā slodzes vērtība;

Gadījuma un aprēķina kopējā ekscentricitāte:

$$e_m = e_0 + \frac{H_1}{300} \quad \Rightarrow \quad e_m = 0,046 + \frac{5,05}{300} = 0,0635 \text{ m}$$

e_m – kopējā ekscentricitāte;

Nestspējas pārbaude:

$$N \leq N_{Rd} = \frac{\Lambda_m A f_k}{\gamma_M} \quad \Rightarrow \quad 1492,65 \leq \frac{0,6 \cdot 0,5 \cdot 5,05 \cdot 10^6}{1} = 1515 \text{ kN}$$

N_{Rd} – slodze, ko var uzņemt bloki;

Λ_m – lielums pēc grafika 2.8. attēlā EPN 6/AM-1;

A – apskatāmā elementa laukums;

f_k – pagrabstāva materiāla stiprība;

γ_M – materiāla koeficients.

Izmantotās literatūras saraksts

1. Bill Mosley, John Bungey, Ray Hulse, „Reinforced concrete design to Eurocode 2”
2. A.J. Bond, „How to design concrete structures using Eurocode2”
3. L. Pakrastiņš, A. Sprince, „Stiegrbetona konstrukciju aprēķina piemēri”, 2006.g.
4. A. Gailis, „Celtnieka rokas grāmata būvmehānikā”, 1961.g.
5. LVS EN 1992-1-1:2005, „Betona konstrukciju projektēšana”
6. Worked examples for Eurocode 2
7. T.N. Cajs, „Būvkonstrukcijas II”, 1991.g.
8. J.Brauns, „Stiegrbetona konstrukcijas”, 2007.g.
9. A. Mandrikovs, „Dzelzsbetona konstrukcijas”, 1979.g.
10. LVS EN 1996-1-1:2008, „Mūra konstrukciju projektēšana”
11. L.Pakrastiņš, I.Paegle, „Mūra konstrukciju projektēšana atbilstoši EC6”, 2009.g.

Grafiskā daļa

Kļūdu labojums:

5. lpp. Starpstāvu pārseguma plātnes slodžu aprēķins:

$$g_d = 3,375 + 1,607 = 4,442 \text{ kN/m}^2$$

25. lpp. Slodzes no palīgsijām nav jāreizina ar parciālajiem faktoriem, jo tas jau izdarīts sākumā.