

Laohoone projekteerimine

Warehouse design

HOONETE EHITUS ÕPPEKAVA LÕPUTÖÖ

Üliõpilane: Nikita Skripnikov

Üliõpilaskood: 124370RDBR

Juhendaja: Galina Kadnikova, lektor

AUTORIDEKLARATSIOON

Olen koostanud lõputöö iseseisvalt.

Lõputöö alusel ei ole varem kutse- või teaduskraadi või inseneridiplomit taotletud. Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, olulised seisukohad, kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on viidatud.

03.01.2020.

Autor: Nikita Skripnikov

/ allkiri /

Töö vastab rakenduskõrgharidustöö esitatud nõuetele

06.01.2020.

Juhendaja: Galina Kadnikova

/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

06.01.2020.

Kaitsmiskomisjoni esimees: Veronika Shirokova

/ nimi ja allkiri /

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks¹

Mina Nikita Skripnikov

sünnikuupäev: 24.02.1993

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose

_____ /

(lõputöö pealkiri)

mille juhendaja on Galina Kadnikova,

(juhendaja nimi)

1.1 reprodutseerimiseks lõputöö säilitamise ja elektroonse avaldamise eesmärgil, sh Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogusse lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

1.2 üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tallinna Tehnikaülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogu kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.

2. Olen teadlik, et käesoleva lihtlitsentsi punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.

3. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest ning muudest õigusaktidest tulenevaid õigusi.

¹Lihtlitsents ei kehti juurdepääsupiirangu kehtivuse ajal, välja arvatud ülikooli õigus lõputööd reprodutseerida üksnes säilitamise eesmärgil.

_____ *(allkiri)*

_____ *(kuupäev)*

TalTech Virumaa Kolledž

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Üliõpilane: Nikita Skripnikov, RDBR 124370

Õppekava, peeriala: RDBR61, Hoonete ehitus

Juhendaja(d): Lektor, Galina Kadnikova, +37258350670

Konsultant: Jevgeni Korniltsev, Ehitusprojektijuht

Jõhvi vallavalitsus, +37258174730, jevgeni_korniltsev@yahoo.com

Lõputöö teema:

LAOHOONE PROEKTEERIMINE

Warehouse desing

Lõputöö põhieesmärgid:

1. Projekteerida laohoone
2. Teostada laohoone puitkonstruktsioonide tugevusarvutused
- 3.

Lõputöö etapid ja ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Laohoone seletuskiri	01.10.20
2.	Laohoone projekteerimine arvutus	01.11.20
3.	Laohoone joonised	01.12.20

Töö keel: Eesti keel **Lõputöö esitamise tähtaeg:** 15.12.2020....a

Üliõpilane: Nikita Skripnikov..... 01.10.2020....a

/allkiri/

Juhendaja: Galina Kadnikova..... 01.10.2020....a

/allkiri/

Konsultant: Jevgeni Korniltsev..... 01.11.2020....a

/allkiri/

Programmijuht: Veronika Shirokova 01.12.2020....a

/allkiri/

SISUKORD

1. SISSEJUHATUS.....	9
2. LAOHOONE PROJEKTEERIMINE.....	10
2.1 Asendiplaan	10
2.1.1 Ehitusplatsi asukoht.....	10
2.1.2 Täitetööd.....	11
2.2 Arhitektuur	11
2.2.1 Hoone üldandmed.....	11
2.2.2 Hoone tehnilised andmed	11
2.2.3 Laohoone valimuse arhitektuurne lahend.....	11
2.3 Tuleohutusednõuded.....	12
2.3.1 Hoone peamised tuleohutuse näitajad.....	12
2.3.2 Evakuatsioon	12
2.3.3 Tulekahjusignalisatsioon	12
2.3.4 Tuleohutuskujad	12
2.4 Hoone ehituskonstruksioonid	12
2.4.1 Vundamendid.....	12
2.5 Tervisekaitseenõuded	13
2.5.1 Keskkonnamõjud.....	13
2.5.2 Jäätmekäitlus.....	13
2.5.3 Laohoone valgustus	13
2.5.4 Materjalidele esitatavad nõuded	13
2.6 Tööohutusnõuded	13
2.7 Tõstetööde üldised nõuded	13
3. KONSTRUSIOONIDE ARVUTUS	14
3.1 Omakaalu lume- ja tuulekoormused.....	14
3.1.1 Omakaalu määrimine	14
3.1.2 Lumekoormuse määrimine.....	15
3.1.3 Tuulekoormuse määrimine.....	15
3.1.4 Välisrõhutegurid ristikülkusele põhiplaaniga hoonete vertikalsetele seinetele	16
3.1.5 Valisrõhk katusele	17
3.2 Jätkatud kasutuseroovi arvutus	18
3.2.1 Katuseroovi arvutus.....	18
3.2.2 Arvutuslik avamonendit ültaselt jaotatud koormusel korral	19

3.2.3	Puitelementide tugevuskontroll vildakpaindele 1 ja 3 avas	19
3.2.4	Kiivi kontroll	20
3.2.5	Liite arvutus.....	22
3.3	Peakandja valik ja arvutus	25
3.3.1	Peakandja valik ja arvutus	25
3.3.2	Lõiged	26
3.3.3	Tõmbejõu vertikaal vardas.....	35
3.4	Peakandja sõlmede arvutus	37
3.5	Peakandekonstruksioone toetavate postude valik arvutus.....	41
3.5.1	Materjalid	41
3.5.2	Koormused	42
3.5.3	Stabiisuskontroll raami tasapinnas.....	43
3.5.4	Alusplaadi kontroll	46
3.6	Seinapaneeli arvutus.....	51
3.6.1	Seinapaneeli arvutus.....	51
3.6.2	Vineerplaadi kontroll	52
3.6.3	Litte kandevõime	58
4.	KOKKUVÕTTE	60
5.	ABSTRACT	61
6.	KASUTATUD KIRJANDUS	62
6.1	Õpikud ja abimaterjal.....	62
7.	GRAAFILINE OSA.....	63

Tähiste loetelu

Tähis	Definitsioon
S	normatiivne lumekoormus katusel
S _d	arvutuslik lumekoormus
μ ₁	katuse lumekoormuse kujutegur
C _t	soojustegur
γ _Q	osavarutegur muutuva koormusele
γ _G	osavarutegur alalisele koormusele
C _e	avatustegur
W _e	välispindadele mõjuv tuulerõhk
W _i	sisepindadele mõjuv tuulerõhk
q _p (z _e)	tippkiirusrõhk
Z _e	välisrõhu arvutuskõrgus
C _{pe}	välisrõhu rõhutegur
C _{pi}	siserõhu rõhutegur
g _d	arvutuslik omakaalukoormus
g _k	normatiivne omakaalukoormus
γ	materjali mahukaal
Q	muutuvkoormused
W _{net}	netorõhk konstruktsioonelemendile
ψ	kombinatsioonitegur
M	paindemoment
V	põikjõud
P	punktkoormus
G	alalised koormused
R	toereaktsioon
S _k	normatiivne lumekoormus maapinnal

L	tugede vahekaugus
b	ristlõike laius
h	ristlõike kõrgus
pd	koormuskombinatsioon
σ_t, d	arvutuslik tõmbepinge
σ_m, d	arvutuslik paindepinge
f_c, d	arvutuslik survetugevus
f_t, d	arvutuslik tõmbetugevus
f_m, d	arvutuslik paindetugevus
f_v, d	arvutuslik nihketugevus
f_c, k	normatiivne survetugevus
f_t, k	normatiivne tõmbetugevus
σ_c, d	arvutuslik survepinge
f_m, k	normatiivne paindetugevus
f_v, k	normatiivne nihketugevus
iz	ristlõike inertsiraadius
Iz	ristlõike inertsimoment
λ	varda saledus
λ_{rel}	varda suhteline saledus
leff	nõtkepikkus
γ_M	materjali osavarutegur
W	ristlõike vastupanumoment
Vd	arvutuslik nihkejõud
A	ristlõike pindala
Fv, Rk	poltide normkandevõime
fub	poldi tõmbetugevus
fyb	poldi voolavuspää

SISSEJUHATUS

Autor valis lõputöö teemaks „Laohoone projekteerimine“. Teema valik pärined autoi isiklikust töökogemusest, kuna ta töötas objektijuhina mintete sarnaste lahoonete püstitamisel. Tekkis huvi selliste hoonete konstrueerimise vastu.

Puithoonete projekteerimise on väga suur tähtsus tuleohutusnõuete ja normide täitmisel.

Töö eesmärkideks olid:

1. Projekteerida laohoone
2. Teostada laohoone puitkonstruktsioonide tugevusarvutused

Konstruktsioonide tugevusarvutuses kasutas autor sõlmede väljalõikamise meetodil.

Lõputöös on kaks osa: laohoone projekteerimine ja konstruktsioonide tugevusarvutused.

Autor avaldab tänu lõputöö juhendajale, konsultandile, kolleegidele, kes abistasid ja toetasid tema lõputöö koostamisel.

Lõputöö võtmesõnad: laohoone, puitkonstruktsioonid, ferm, tuleohutus, rakenduskõrghariduse lõputöö.

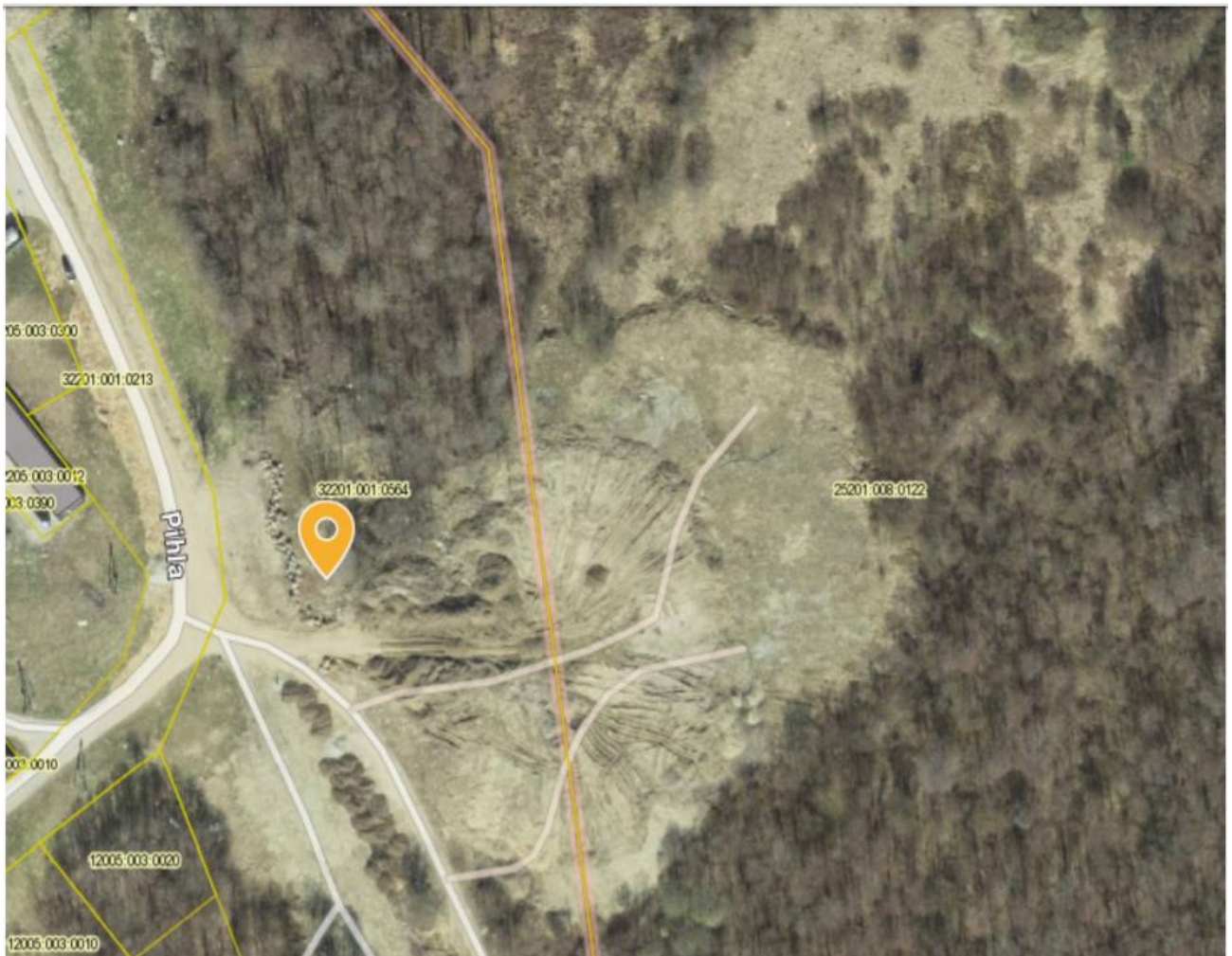
2. LAOHOONE EELPROJEKT SELETUSKIRI

2.1 Asendiplaan

2.1.1 Ehitise asukoht

Altserva haljasala P1, Ahtme linnaosa, Kohtla-Järve, Ida-Virumaa

Kinnistus katastriüksuse tunnus: 32201:001:0564



Joonis 2.1.1.1 Ehitusplats (tähistatud) Maa-ameti kodulehel [1]

2.1.2 Täitetööd

Enne vundamenditööde alustamist peab olema kaevise aluspohja pinnas tihendatud killustikuga. Vundamentide ja torustike alusteks valmistatakse liiv- ja/või killustikpadjad.

Projekteeritud liiv- ja killustikalused teostatakse kihtide kaupa, iga kiht tihendatakse vibroplaadi või vibrorulliga, tihendamine koefitsiendiga vähemalt 0,98.

Vundamendi põskede ja paigaldatud torustike kaeviste tagasitaide teostatakse olemasolevast

pinnasest kihtide kaupa, igat kihti vibroplaadiga tihendades.

Paigaldatavate ja tihendatavate aluste, vundamendiaariste ja torustike kraavide tagasitaite kihi paksus mitte üle 200 mm.

2.2 Arhitektuur

2.2.1 Hoone üldandmed

Projekteeritav hoone on 1-korruseline.

Konstruktiiivne skeem – puitkarkass.

Katuslae kandevkonstruktsioon – puitkarkass.

Vundamendid – üksikvundament.

Sokkel – columbiakivi betoonplokkid.

Seinad – kergpaneelid.

Katus – kergpaneelidest.

Hoone gabariidid: P x L x K = 36 x 23,5 x 9.025 meetrit.

2.2.2 Hoone tehnilised andmed

Taabel 2.2.2.1 Hoone tehnilised andmed

Nr	Nimetus	Ühik	Näitaja
1	Ehitusalune pind	m ²	890
2	Suletud neopind	m ²	820
3	Köetav pind	m ²	820
4	Mitteeluruumi pind	m ²	70
5	Üldkasutatav pind	m ²	820
6	Tehnopind	m ²	-
7	Maapealsete korruste arv	-	1
8	All-maa korruste arv	-	-
9	Ehitise pikkus	m	36
10	Ehitise laius	m	23,5
11	Ehitise sügavus	m	1.5
12	Ehitise kõrgus	m	9
13	Ehitise absoluutne kõrgus	m	10,5
14	Ehitise maht	m ³	5074
15	Ehitise maapeale osa maht	m ³	6343
16	Ehitise all-maa osa maht	m ³	-

2.2.3 Laohoone välimuse arhitektuurne lahend

Projekteeritav laohoone on 1-korruseline, viilkatusega. Katuse kalded on 10°.

Laohoone seinad tehakse kahest erineva pinna kergpaneelidest. Kasutatakse puitpaneele.

Sokkel – Columbia Kivi betoonplokkid.

2.3 Tuleohutusnõuded

2.3.1 Hoone peamised tuleohutuse näitajad

Taabel 2.3.1.1 Tuleohutuse parameetrid

Nr	Tuleohutuse parameetrid	Näitaja
1	Ehitise kasutusviis	VI
2	Hoone tulepüsivusklass	TP2
3	Hoone tuleohuklaas	1
4	Hoone tulekaitsekase	II
5	Maksimaalne inimeste arv hoonest, juhuärgselt	2
6	Elipõlemiskoormus hoonest	Alla 300 MJ/ m ²

2.3.2 Evakuatsioon

Töökohta lõputöös käsitletavas laohoones ei ole. Sissepääs laohoonest on otse õue. Hoonest . Evakuatsioonitee pikkus on maksimaalne pikku on 18 meetrit. [2]

2.3.3 Tulekahjusignalisatsioon

Hoones peab olema paigaldatud automaatne tulekahjusignalisatsioon. [2]

2.3.4 Tuleohutuskujad

Kaugused kinnistud asuvad rohkem, kui 8,0 meetrit kaugusel. Naaberkinnistul hoonestust ei ole.

2.4 Hoone ehituskonstruksioonid

2.4.1 Vundamendid

Laohoonele on projekteeritud puitkonstruktsioone kandev lintvundament. Rajamissügavus on 1.5 m, lindi laius on 400 mm. Lintvundament valatakse betoonist tugevusklassiga C30/37

Vundamendi konstruktsioonide keskkonnapüsivus tagatakse keskkonningimustele vastava betoonikoostisega ning sarruse betoonkaitsekihiga.

2.5 Terviskaitseenõuded

2.5.1 Keskkonnamõjud

Laahoone pustitamiseks projekteerimise kaigus on arvesse voetud keskkonnakaitselisi noudeid. Reostuse ohtu ei esine. Elektriline küte et tekita keskkonnale kahju.

2.5.2 Jäätmekäitlus

Olmejaatmete kogumiseks Projekt naeb ette paigaldatakse prugikonteineri

Territooriumil paigaldatavad konteinerid valitakse vastavalt kehtivatele normidele.

Prugi ladustamine korraldatakse vastavalt Jaatmehoolduseeskirjale. Sorteeritud jaatmekaitlus lahendatakse koostoo jaatmekaitlusfirmaga. Haldaja peab solmima lepingu prugi regulaarseks araveoks.

Ehitustooe kaigus tekkivad jaatmed ladustatakse ajutiselt ehitusplatsi territooriumil paiknevatesse konteineritesse ja viiakse hiljem, olenevalt jaatme tuubist, selleks ettenahtud hoidlatesse. Pärast ehitustooe loppu territoorium puhastatakse ehitusjaatmetest ja heakorrastatakse.

2.5.3 Laahoone valgustus

Laphoonese paigaldatakse valgustid, millega on millised tagavad noutud valgustiheduse.

2.5.4 Materjalidele esitatavad nõuded

Ehitustöödel kasutatakse sertifitseeritud ja tervisekaitse normidele vastavaid ja sertifitseeritud materjale.

2.6 Tööohutusnõuded

Ohtlikud ehitustööd antud objektil :

- tööd, mida teostatakse kõrgustes, vähemalt 2 meetri kõrgusel, tellingutel ja katusel
- kaevetööd, millega võib kaasneda süvendi varisemine;
- tõstetööd, mis on seotud raskete puidementide monteerimisega, samas ka ehitusmaterjali tõstmisega katusele;

Nimetetd tööd tuleb teostada vastavatel tööohutus kehtivatel nõutel

2.7 Tööde teostamine ja ohutuse nõuded

Käesoleval ajal krundil teid ei ole. Ehitustööde ajaks rajatakse ajutine kruusatee ehitusmasinate ja inimeste liikumise jaoks. Ehitustööde ajaks paigaldatakse krundile kuivkäimla, soojak ja ajutised piirded.

Ehitusplatsi tuleohutuse vahendeid antakse toovotja poolt.

Ehitustoode korraldamisel ehitusplatsil on väga suur tähtsus tuleohutusel, töökaitisel ja keskkonnakaitisel.

3. KONSTRUKTSIOONIDE ARVUTUS

3.1 Omakaalu lume-ja tuulekoormused

3.1.1 Omakaalu määrimine

Koormuste osavarutegurid

$$\text{Alalised koormused } \gamma_g = 1,2$$

$$\text{Muutuvad koormused } \gamma_q = 1,5$$

Tabel 3.1.1.1 Koormuste kogumine

Katus			
Alalised koormused	Normatiivne koormus kN/m ²	Osavarutegur	Arvutuslik koormus kN/m ²
Katusekatte omakaal			
Katuseplekk	0,06	1,2	0,07
Pleki roovitus 25x100 mm, s.300 mm	0,05	1,2	0,06
Tuulutusvahe, roovitus 25x50 mm, s.600 mm	0,01	1,2	0,01
Aluskate	0,001	1,2	0,002
Tuulutusvahe, roovitus 50x50 mm, s.600 mm	0,01	1,2	0,02
Roovtalastik	0,25	1,2	0,30
Siseviimistlus 22x100	0,11	1,2	0,13
Alalised koormused kokku	0,49		0,59
Ajutised koormused			
Lühiajalised koormused			
Lumekoormus 120 kg/m ²	1,2	1,5	1,8
Koormused kokku	1,69		2,39
Sein			
Alalised koormused	Normatiivne koormus kN/m ²	Osavarutegur	Arvutuslik koormus kN/m ²
Seina omakaal			
Sisenemine laudis	0,05	1,2	0,06
Aurutõke	0,001	1,2	0,002
Vineer puit-paneel	0,55	1,2	0,66
Vertikaalroovitus 50x50 mm, s.600 mm	0,01	1,2	0,02
Horisontaallaudis 22x100 mm	0,11	1,2	0,13
Alalised koormused kokku	0,72		0,87
Ajutised koormused			
Lühiajalised koormused			
Tuulekoormus kg/m ²	2,11	1,5	3,17
Koormused kokku	3,56		4,91

3.1.2 Lumekoormuse määramine

Koormamisvariant: [4]

a) üle kogu katuse ühtlase kihina jaotud lumekoormuse horisontaalprojektsioon

b) lume alla libisemine katusele ei ole takistatud

Hoone kõrgus maapinnast – $H_1 = 6,0m$

Räästa kõrgus maapinnast – $H_{terve} = 6,0 + \frac{b}{10} = 6,0 + \frac{23,5}{10} = 8,35m$

Katuse lumekoormuse normsuurus määratakse järgmiselt: (3.1.2.1)

$$S = \mu_i * C_e * C_t * S_k$$

μ_i – lumekoormusekujutegur S_k – lumekoormusenormsuurusmaapinnal $\frac{kN}{m^2}$ C_t – avatustegur

$$= 1,0 C_e - soojustustegur = 1,0$$

Teguri μ_i määramine kui $0 \leq \alpha \leq 30^\circ$ siiskujutegur = 0,8

$$S_k = 1,5 \frac{kN}{m^2}$$

$$\text{Lumekoormuskatusele: } S = 1,5 * 0,8 * 1,0 * 1,0 = 1,2 \frac{kN}{m^2}$$

3.1.3 Tuulekoormuse määramine

Lähteandmed: [3]

Hoone mõõdud $a \times b = 23,5 \times 36 \text{ m}$

Hoone kõrgus 8,35 m

Hoone asukoht Ahtme

Maastikutüüp III

Tuulesuund $\theta = 180^\circ$

Tuulerõhk (3.1.3.1)

$$w_e = q_p(z) * c_{pe}$$

$q_p(z)$ – kiirusrõhk, z – arvutuskõrgus c_{pe} – välisrõhutegur

$$q_p = 12,81 \ln^2 \frac{z}{0,3} + 89,64 \ln \frac{z}{0,3} = 12,81 \ln^2 \frac{8,35}{0,3} + 89,64 \ln \frac{8,35}{0,3} = 142 + 298,5 = 440,5 \text{ N/m}^2$$

Hoonele mõjub tuule resultantjõud ekstsentrilisusega

$$e = b \text{ või } 2h, \text{ meie juhul, } e = 2h = 2 \times 8,35 = 16,7m$$

Tegemist on kahekaldelise katusega, $\frac{h}{d} = \frac{8,5}{23,5} = 0,36$

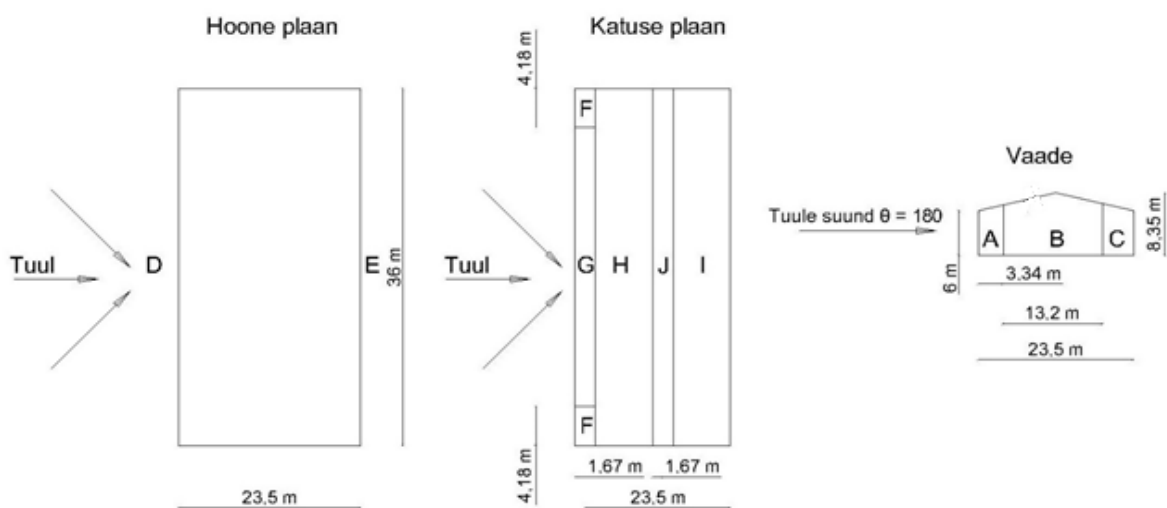
3.1.4 Välisrõhutegurid ristkülikulise põhiplaaniga hoonete vertikaalsetele seintele

Taabel 3.1.4.1

Tsoon	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$
A	-1,2	-1,4
B	-0,8	-1,1
C	-0,5	-0,5
D	+0,8	+1,0
E	-0,5	-0,5

Hoonete välisrõhutegur C_{pe} sõltuvalt tuule mõjule avatud pinna suuruselt; kuna $A > 10\text{m}^2$ siis

$$C_{pe} = C_{pe,10}$$



Joonis 3.1.4.1 Hoonete välisrõhutegur

Välisrõhk seintele:

(3.1.4.1)

$$W_e = q_p(z)C_{pe,10}$$

$$\begin{aligned}
 TsoonA: 440,5 \times (-1,2) &= -528,6 \frac{N}{m^2} & TsoonB: 440,5 \times (-0,8) &= -352,4 \frac{N}{m^2} & TsoonC: 440,5 \times (-0,5) \\
 &= -220,3 \frac{N}{m^2} & TsoonD: 440,5 \times (0,8) &= 352,4 \frac{N}{m^2} & TsoonE: 440,5 \times (-0,5) &= -220,3 \frac{N}{m^2}
 \end{aligned}$$

Arvutuslik tuulekoormus raamile:

$$W_{D,d} = 1,5 \times 0,352 \times 6 = 3,17 \frac{kN}{m^2} \text{ (Dpoolet)}$$

$$W_{E,d} = 1,5 \times 0,220 \times 6 = 1,98 \frac{kN}{m^2} \text{ (Epoollet)}$$

3.1.5 Välisrõhk katusele

Interpoleerimine 10^0 jaoks

(3.1.5.1)

$$X = f(x_1) + (f(x_2) - f(x_1)) \times \frac{(x-x_1)}{(x_2-x_1)} \text{ Tsoon F:}$$

$$\begin{aligned} C_{pe,10} &= -1,7 + (-0,9 - (-1,7)) \times \frac{(10-5)}{(15-5)} = -1,3 \\ C_{pe,10} &= 0 + (0,2 - 0) \times \frac{(10-5)}{(15-5)} = 0,10 \\ C_{pe,1} &= -2,5 + C_{pe,1} = 0 + (0,2 - 0) \times \frac{(10-5)}{(15-5)} = 0,10 \end{aligned}$$

Tsoon G:

$$\begin{aligned} C_{pe,10} &= -1,2 + (-0,8 - (-1,2)) \times \frac{(10-5)}{(15-5)} = -0,8 \\ C_{pe,10} &= 0 + (0,2 - 0) \times \frac{(10-5)}{(15-5)} = 0,10 \\ C_{pe,1} &= -2 + C_{pe,1} = 0 + (0,2 - 0) \times \frac{(10-5)}{(15-5)} = 0,10 \end{aligned}$$

Tsoon H:

$$\begin{aligned} C_{pe,10} &= -0,6 + (-0,3 - (-0,6)) \times \frac{(10-5)}{(15-5)} = -0,45 \\ C_{pe,10} &= 0 + (0,2 - 0) \times \frac{(10-5)}{(15-5)} = 0,10 \\ C_{pe,1} &= -1,2 + C_{pe,1} = 0 + (0,2 - 0) \times \frac{(10-5)}{(15-5)} = 0,10 \end{aligned}$$

Tsoon I:

$$\begin{aligned} C_{pe,10} &= -0,6 + (-0,4 - (-0,6)) \times \frac{(10-5)}{(15-5)} = -0,40 \\ C_{pe,10} &= -0,6 + (0 - (-0,6)) \times \frac{(10-5)}{(15-5)} \\ &= -0,3 \\ C_{pe,1} &= -0,6 + (-0,4 - (-0,6)) \times \frac{(10-5)}{(15-5)} = -0,5 \\ C_{pe,1} &= -0,6 + (0 - (-0,6)) \times \frac{(10-5)}{(15-5)} = -0,3 \end{aligned}$$

Tsoon J:

$$\begin{aligned} C_{pe,10} &= 0,2 - (0,2 - (-1)) \times \frac{(10-5)}{(15-5)} = -0,4 \\ C_{pe,10} &= -0,6 + (0 - (-0,6)) \times \frac{(10-5)}{(15-5)} = -0,3 \\ C_{pe,1} &= 0,2 + (0,2 - (-1,5)) \times \frac{(10-5)}{(15-5)} = -0,82 \\ C_{pe,1} &= -0,6 + (0 - (-0,6)) \times \frac{(10-5)}{(15-5)} \\ &= -0,3 \end{aligned}$$

Taabel 3.1.5.1 Katuse kaldenurk

Katuse kaldenurk α^0	F		G		H		I		J	
	C _{pe,10}	C _{pe,1}	C _{pe,10}	C _{pe,1}	C _{pe,10}	C _{pe,1}	C _{pe,10}	C _{pe,1}	C _{pe,10}	C _{pe,1}

10°	-1,3	-1,75	-0,8	-1,75	-0,45	-0,75	-0,4	-0,5	-0,4	-0,65
	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	-0,3	0,3	0,3	-0,3

Tsooni F pindala on vähem kui 10m², seega (3.1.5.2)

$$\begin{aligned}
 C_{pe} &= C_{pe,1} + (C_{pe,10} - C_{pe,1}) \log_{10} \left(\frac{e}{4} \times \frac{e}{10} \right) = -1,75 + (-1,3 - (-1,75)) \log_{10} 6,97 \\
 &= -1,75 + (-1,3 - (-1,75)) \times 0,84 = -1,58 C_{pe} \\
 &= C_{pe,1} + (C_{pe,10} - C_{pe,1}) \log_{10} \left(\frac{e}{4} \times \frac{e}{10} \right) = 0,10 + (0,12 - 0,12) \log_{10} 6,97 \\
 &= 0,10 + (0,10 - 0,10) \times 0,84 = 0,10
 \end{aligned}$$

Kuna F,G,H positiivsed väärtused on väga väikesed ja tsoonis I,J negatiivsed väärtused vähendavad koormust, siis ei võta neid näitajad arvesse.

3.2 Jätkatud kasutuseroovi arvutus

3.2.1 Katuseroovi arvutus

(3.2.1.1)

Koormused: $G_k = 0,490 \frac{kN}{m^2}$; $Q_k =$

$1,2 \frac{kN}{m^2}$ Prussid: 115x225mm Katusekalle 10°, roovtaladesamm 2,0m, avadesilded 6,0m Kasutusklass S

$$30 \frac{N}{mm^2} \quad f_{m,g,k} = 30 \frac{N}{mm^2} \quad f_{v,g,k} = 3,5 \frac{N}{mm^2} \quad f_{c,90,g,k} = 2,5 \frac{N}{mm^2} \quad E_{0,g,mean} =$$

$$13600 \frac{N}{mm^2} \quad E_{0,0,5} = 11300 \frac{N}{mm^2} \quad \rho_{g,k} = 430 \frac{kg}{m^3}$$

$$\text{Arvutuslik koormus katusele } p_d = 1,2G_k + 1,5Q_k = 1,2 \times 0,490 + 1,5 \times 1,2 = 0,588 + 1,8 = 2,388 \frac{kN}{m^2}$$

$$\text{Arvutuslik koormus roovile sammuga } S = 2,0m, q_d = P_d \times s = 2,388 \times 2 = 4,776 \frac{kN}{m}$$

Kuna tegemist on vildakpaindega, siis leitakse ühtlaselt jaotatud arvutuslikku koormuse teljesuunalised komponendid: (3.2.1.2)

$$p_{z,d} = q_d \times \cos\alpha = 4,776 \times \cos 10^\circ = 4,703 \frac{kN}{m} \quad p_{y,d} = q_d \times \sin\alpha = 4,776 \times \sin 10^\circ = 0,829 \frac{kN}{m}$$

Liimpuidu GL30h arvutuslikud väärtused, $k_{mod} = 0,9$

$$f_{m,g,d} = \frac{30 \times 0,9}{1,25} = 21,6MPa \quad f_{c,0,g,k} = \frac{30 \times 0,9}{1,25} = 21,6MPa$$

Taabel 3.2.1.1

	η
Esimeses avas	0,078
Teises avas	0,034
Kolmandas avas	0,043

3.2.2 Arvutuslikud avamomendid ühtlaselt jaotatud koormuse korral

(3.2.2.1)

$$M_{y,d} = \eta \times p_{z,d} \times L^2$$

$$M_{z,d} = \eta \times p_{y,d} \times L^2$$

Ava 1:

$$M_{y,1,d} = \eta \times p_{z,d} \times L^2 = 0,078 \times 4,703 \times 6^2 = 13,2 \text{ kNm}$$

$$M_{z,1,d} = \eta \times p_{y,d} \times L^2 = 0,078 \times 0,829 \times 6^2 = 2,33 \text{ kNm}$$

Ava 2:

$$M_{y,2,d} = \eta \times p_{z,d} \times L^2 = 0,034 \times 4,703 \times 6^2 = 5,75 \text{ kNm}$$

$$M_{z,2,d} = \eta \times p_{y,d} \times L^2 = 0,034 \times 0,829 \times 6^2 = 1,01 \text{ kNm}$$

Ava 3:

$$M_{y,3,d} = \eta \times p_{z,d} \times L^2 = 0,043 \times 4,703 \times 6^2 = 7,28 \text{ kNm}$$

$$M_{z,3,d} = \eta \times p_{y,d} \times L^2 = 0,043 \times 0,829 \times 6^2 = 1,28 \text{ kNm}$$

3.2.3 Puitelementide tugevuskontroll vildakpaindele 1 ja 3 avas

Ava 1: (3.2.3.1)

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1; \frac{13,56}{21,6} + 0,7 \frac{5,16}{21,6} = 0,795 \leq 1, \text{ tugevustingimus täidetud}$$

$$\begin{aligned} \sigma_{m,y,d} &= \frac{M_{y,1,d}}{W} = \frac{13,2 \times 10^6 \times 6}{115 \times 225^2} = \frac{79200000}{5821875} = 13,60 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \\ \sigma_{m,z,d} &= \frac{M_{z,1,d}}{W} = \frac{2,33 \times 10^6 \times 6}{225 \times 115^2} \\ &= \frac{13980000}{2975625} = 4,70 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \end{aligned}$$

Ava 3:

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1; \frac{7,48}{21,6} + 0,7 \frac{2,84}{21,6} = 0,438 \leq 1, \text{ tugevustingimus täidetud} \quad (3.2.3.2)$$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,3,d}}{W} = \frac{7,28 \times 10^6 \times 6}{115 \times 225^2} = \frac{43680000}{5821875} = 7,50 \frac{N}{mm^2}$$

$$\sigma_{m,z,d} = \frac{M_{z,3,d}}{W} = \frac{1,28 \times 10^6 \times 6}{225 \times 115^2} = \frac{7680000}{2975625} = 2,58 \frac{N}{mm^2}$$

Teisel toel liites mõjuvad jõud leitakse lihtsustatud momentide ja pöikjõudude jaotusest:

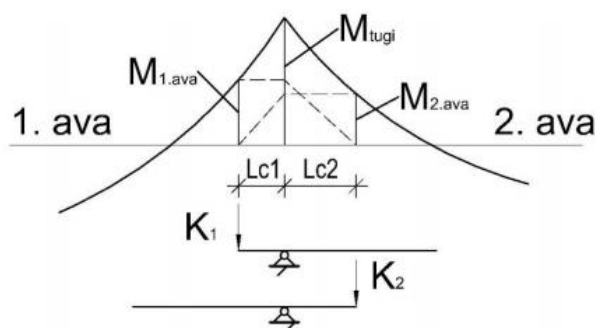
$$L_{C1} = 0,1 \times L = 0,1 \times 6 = 0,6m - \text{keskmisetalakonsoolneosa}$$

$$L_{C2} = 0,17 \times L = 0,17 \times 6 = 1,02m - \text{äärmisetalakonsoolneosa}$$

(3.2.3.3)

$$K_{2,z} = \frac{M_{2y,d}}{L_{c,2}} = \frac{13,16}{1,02} = 12,90kN$$

$$K_{2,y} = \frac{M_{2z,d}}{L_{c,2}} = \frac{2,56}{1,02} = 2,51kN$$



Joonis 3.2.3.1

3.2.4 Kiivi kontroll

Kui ristlõikes mõjub ainult paindemoment siis tala kiivel peavad pinged rahuldama tingimust

$$\sigma_{m,d} \leq k_{crit} f_{m,d} \quad (3.2.4.1)$$

$$k_{crit} \text{ määramine } k_{crit} = \begin{cases} 1,0 & \text{kui } \lambda_{rel,m} \leq 0,75 \\ 1,56 - 0,75\lambda_{rel,m} & \text{kui } 0,75 < \lambda_{rel,m} < 1,4 \\ 1/\lambda_{rel,m} & \text{kui } 1,4 < \lambda_{rel,m} \end{cases}$$

Kiive kontroll 1 avas:

Kriitiline pingepaindel:

$$\sigma_{m,crit} = \frac{0,78 \times E_{0,05} \times b^2}{h \times L_{ef}} = \frac{0,78 \times 11300 \times 115^2}{225 \times 6000} = 86,34 \frac{N}{mm^2}$$

Suhteline saleduspaindel:

(3.2.4.2)

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,g,k}}{\sigma_{m,crit}}} = \sqrt{\frac{30}{86,34}} = 0,59 < 0,75$$

$$k_{crit} = 1,0 \text{ kui } \lambda_{rel,m} \leq 0,75$$

$$\text{Seega: } \sigma_{m,d} \leq k_{crit} f_{m,d} = 13,60 + 0,7 \times 5,15 = 17,17 \leq 1,0 \times 21,6 \frac{N}{mm^2}$$

Kiive kontroll 3 avas:

Kriitiline pingepaindel:

$$\sigma_{m,crit} = \frac{0,78 \times E_{0,05} \times b^2}{h \times L_{ef}} = \frac{0,78 \times 11300 \times 115^2}{225 \times 6000} = 86,34 \frac{N}{mm^2}$$

Suhteline saledus paindel:

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,g,k}}{\sigma_{m,crit}}} = \sqrt{\frac{30}{86,34}} = 0,59 < 0,75k_{crit} = 1k_{ui}\lambda_{rel,m} \leq 0,75$$

Seega: $\sigma_{m,d} \leq k_{crit}f_{m,d} = 13,60 + 0,7 \times 5,15 = 17,17 \leq 1,0 \times 21,6 \frac{N}{mm^2}$

Läbipaine kontroll:

Kasutuspiirreisisundi kombinatsioonid: omakaal + lumi

Läbipaine 1 avas

Alaline koormus:

(3.2.4.3)

$$G_{z,d} = s \times \cos\alpha \times G_k = 2 \times \cos 10^\circ \times 0,490 = 0,965 \frac{kN}{m} \quad G_{y,d} = s \times s \in \alpha \times G_k = 2 \times \sin 10^\circ \times 0,490 = 0,170 \frac{kN}{m}$$

(3.2.4.4)

$$W_{inst,y} = \frac{0,0064 \times G_{y,d} \times L^4 \times \gamma_m}{E_{0,gmean} \times I} = \frac{0,0064 \times 0,170 \times 6000^4 \times 12}{13600 \times 115 \times 225^3} = 1,62mm \quad W_{inst,z}$$

$$= \frac{0,0064 \times G_{z,d} \times L^4 \times \gamma_m}{E_{0,gmean} \times I} = \frac{0,0064 \times 0,965 \times 6000^4 \times 12}{13600 \times 115 \times 225^3} = 5,55mm$$

Muutuv koormus:

(3.2.4.5)

$$q_{z,d} = s \times \cos\alpha \times Q_k = 2 \times \cos 10^\circ \times 1,20 = 2,36 \frac{kN}{m} \quad q_{y,d} = s \times s \in \alpha \times Q_k = 2 \times \sin 10^\circ \times 1,20 = 0,43 \frac{kN}{m}$$

$$W_{inst,y} = \frac{0,0064 \times q_{y,d} \times L^4 \times \gamma_m}{E_{0,gmean} \times I} = \frac{0,0064 \times 0,43 \times 6000^4 \times 12 \times 1,25}{13600 \times 115 \times 225^3} = 5,15mm \quad W_{inst,z}$$

$$= \frac{0,0064 \times q_{z,d} \times L^4 \times \gamma_m}{E_{0,gmean} \times I} = \frac{0,0064 \times 2,36 \times 6000^4 \times 12 \times 1,25}{13600 \times 115 \times 225^3} = 16,48mm$$

$$W_{y,fin} = W_{y,G,inst} \times (1 + k) + W_{y,Q,inst} \times (1 + k) = 1,62 \times (1 + 0,6) + 5,15 \times (1 + 0,6)$$

$$= 2,59 + 5,46 = 8,05mm \quad W_{z,fin} = W_{z,G,inst} \times (1 + k) + W_{z,Q,inst} \times (1 + k)$$

$$= 5,55 \times (1 + 0,6) + 16,48 \times (1 + 0,6) = 8,88 + 26,37 = 35,25mm \quad W_{res} = \sqrt{w_y^2 + w_z^2}$$

$$= \sqrt{7,23^2 + 37,11^2} \approx 37,80mm > \frac{L}{200} = 30mm$$

Muudame ristlõiget pannes topelt talaks, sejärel läbipaine 1 avas:

Alaline koormus:

$$\begin{aligned}
G_{z,d} &= s \times \cos\alpha \times G_k = 2 \times \cos 10^\circ \times 0,490 = 0,965 \frac{kN}{m} \\
G_{y,d} &= s \times s \in \alpha \times G_k = 2 \times \sin 10^\circ \times 0,490 \\
&= 0,170 \frac{kN}{m} \\
W_{inst,y} &= \frac{0,0064 \times G_{y,d} \times L^4 \times \gamma_m}{E_{0,gmean} \times I} = \frac{0,0064 \times 0,170 \times 6000^4 \times 12}{13600 \times 115 \times 225^3 \times 2} = 3,25mm \\
W_{inst,z} &= \frac{0,0064 \times G_{z,d} \times L^4 \times \gamma_m}{E_{0,gmean} \times I} = \frac{0,0064 \times 0,965 \times 6000^4 \times 12}{13600 \times 115 \times 225^3 \times 2} = 1,77mm
\end{aligned}$$

Muutuv koormus:

$$\begin{aligned}
q_{z,d} &= s \times \cos\alpha \times Q_k = 2 \times \cos 10^\circ \times 1,20 = 2,36 \frac{kN}{m} \\
q_{y,d} &= s \times s \in \alpha \times Q_k = 2 \times \sin 10^\circ \times 1,20 \\
&= 0,42 \frac{kN}{m} \\
W_{inst,y} &= \frac{0,0064 \times q_{y,d} \times L^4 \times \gamma_m}{E_{0,gmean} \times I} = \frac{0,0064 \times 0,42 \times 6000^4 \times 12}{13600 \times 115 \times 225^3 \times 2} = 8,05mm \\
W_{inst,z} &= \frac{0,0064 \times q_{z,d} \times L^4 \times \gamma_m}{E_{0,gmean} \times I} = \frac{0,0064 \times 2,36 \times 6000^4 \times 12}{13600 \times 115 \times 225^3 \times 2} = 8,24mm
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
W_{y,fin} &= W_{y,G,inst} \times (1 + k) + W_{y,Q,inst} \times (1 + k) = 3,25 \times (1 + 0,6) + 8,05 \times (1 + 0,6) \\
&= 3,45 + 8,53 = 11,98mm \\
W_{z,fin} &= W_{z,G,inst} \times (1 + k) + W_{z,Q,inst} \times (1 + k) \\
&= 1,77 \times (1 + 0,6) + 8,24 \times (1 + 0,6) = 1,87 + 7,77 = 9,64mm \\
W_{res} &= \sqrt{w_y^2 + w_z^2} \\
&= \sqrt{11,98^2 + 9,64^2} \approx 21,62mm < \frac{L}{200} = 30mm
\end{aligned}$$

3.2.5 Liite arvutus

Roovide kinnitamiseks kasutatakse kruvid DIN571 8X170 KTS 6K/PUIDUPOLT 13V/C3 mm, mille normatiivne tõmbetugevus $f_u = 400 N/mm^2$

Tegemist on põik- ja pikisuunas üheaegselt töötava liitega, kus näiteks kruviliidete puhul kehtib tugevustingimus:

(3.2.5.1)

$$\frac{F_{ax,Ed}}{F_{ax,Rd}} + \frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} \leq 1$$

Liites mõjuvad suurimad jõud on järgmised: $F_{ax,Ed} = K_{2,y} = 2,51kN$, $F_{v,Ed} = K_{2,z} = 12,90kN$

Minimaalsed vahekaugused ja kaugused servast kruvide koormamisel:

Minimaalne kruvide vahekaugus pikikiudu:

$$a_1 = 80 > 7d = 56mm$$

Minimaalne kruvide vahekaugus ristikiudu:

$$a_2 = 125 > 5d = 40mm$$

Minimaalne kruvi keermestatud osa raskuskeskme kaugus elemendi otsast:

$$a_{1,CG} = 90 > 10d = 80mm$$

Minimaalne kruvi keermestatud osa raskuskeskme kaugus elemendi servast:

$$a_{2,CG} = 50 > 4d = 32mm$$

Standartkruvide normatiivne väljatõmbekandevõime pikikiudu: (3.2.5.2)

$$F_{ax.k.Rk} = \frac{n_{ef} \times f_{ax,k} \times d \times l_{ef} \times k_d}{1,2 \times \cos^2 a + \sin^2 a} = \frac{3,48 \times 13,3 \times 8 \times 102 \times 1}{1,2 \times \cos^2 90 + \sin^2 90} = 31473,12N = 31,5kN$$

Normatiivne väljatõmbetugevus: (3.2.5.3)

$$f_{ax,k} = 0,52 \times d^{-0,5} \times l_{ef}^{-0,1} \times p_k^{0,8} = 0,52 \times 8^{-0,5} \times 102^{-0,1} \times 400^{0,8} = 0,52 \times 0,35 \times 0,61 \times 120 = 13,3 N/mm^2$$

$$k_d = \min\left(\frac{d}{8}; 1\right) = 1$$

$$F_{ax.d.Rd} = \frac{F_{ax.k.Rk} \times 0,9}{1,3} = \frac{31,5 \times 0,9}{1,3} = 21,8kN$$

Kruvi keermestatud osa pikkus l_{ef} vastuvõtvas elemendis

$$l_{ef} = 0,6l = 0,6 \times 170 = 102mm$$

Kruvide grupist koosneva liite efektiivne kruvide arv

$$n_{ef} = n^{0,9} = 3,48$$

Muljumistugevus pikikiudu:

$$f_{h,k} = 0,082 \times (1 - 0,01 \times d_{ef}) \times p_k = 0,082 \times (1 - 0,01 \times 7,2) \times 430 = 32,7 N/mm^2$$

Kruvi normatiivne põiksuunaline kandevõime:

$$M_{y,Rk} = 0,3 \times f_u \times d^{2,6} = 0,3 \times 400 \times 8^{2,6} = 26743N = 26,7kN$$

Silindrilise osa diameeter:

$$d_{ef} = 0,9d = 0,9 \times 8 = 7,2mm$$

Põiksuunas koormatud kruviliite normkandevõime: (3.2.5.4)

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} f_{h,k} t_1 d \left[\sqrt{2 + \frac{4M_{y,rk}}{f_{h,k} d t_1^2}} - 1 \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \\ 2,3 \sqrt{M_{y,rk} f_{h,k} d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \end{array} \right\}$$

$$f_{h,k} t_1 d = 30,4 \times 110 \times 8 = 26752 N = 26,8 kN$$

$$f_{h,k} t_1 d \left[\sqrt{2 + \frac{4M_{y,rk}}{f_{h,k} d t_1^2}} - 1 \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} = 26,8 \left[\sqrt{2 + \frac{4 \times 26743}{32,7 \times 8 \times 55^2}} - 1 \right] + 0 = 12,3 kN$$

$$2,3 \sqrt{M_{y,rk} f_{h,k} d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} = 2,3 \sqrt{26743 \times 32,7 \times 8} + 0 = 6,08 kN$$

Efektiivne kruvide arv põiksuunas paiknevate kruvide gruppis:

(3.2.5.5)

$$n_{ef} = \min \left\{ n^{0,9} \times \sqrt[4]{\frac{a_1}{13d}} \right\}$$

$$n_{ef} = \min \left\{ 2^{0,9} \times \sqrt[4]{\frac{80}{13 \times 8}} = 1,86 \right\}$$

Kokku efektiivne kruvide arv:

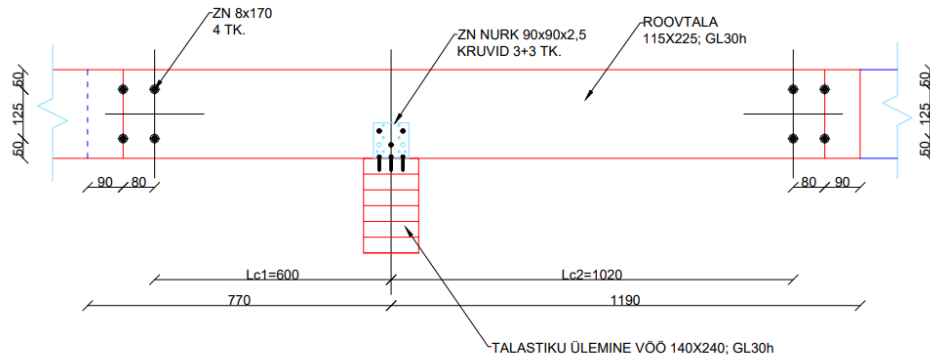
$$n_{ef} = 2 \times 1,86 = 3,72$$

Liite arvutuslik kandevõime:

$$F_{v,Rd} = \frac{3,72 \times 6,08 \times 0,9}{1,3} = 15,65 kN$$

Maksimaalne koormus lähtudes tugevustingimustest:

$$\left(\frac{2,51}{23,3} \right)^2 + \left(\frac{12,90}{15,65} \right)^2 = 0,69 \leq 1$$



Joonis 3.2.5.1 Sõlm A

3.3 Peakandja valik ja arvutus

3.3.1 Peakandja valik ja arvutus

Katuse kaldenurk $\alpha = 10^\circ$ и $\cos\alpha = 0.984$

Leiame:

Koormus F_1 äärmisele toele: (3.3.1.1)

$$F_1 = L_1 \times \frac{b_1}{2} \times \left(\frac{g}{\cos\alpha} + p \right) = 6 \times \frac{2}{2} \times \left(\frac{0,588}{0,982} + 1,8 \right) = 14,38 \text{ kN}$$

Koormus F_2 keskmisele toele: (3.3.1.2)

$$F_2 = L_1 \times b_1 \times \left(\frac{g}{\cos\alpha} + p \right) = 6 \times 2 \times \left(\frac{0,588}{0,982} + 1,8 \right) = 28,77 \text{ kN}$$

kus:

l_1 – talastikusamm

b_1 – talastiku paneeli pikkus

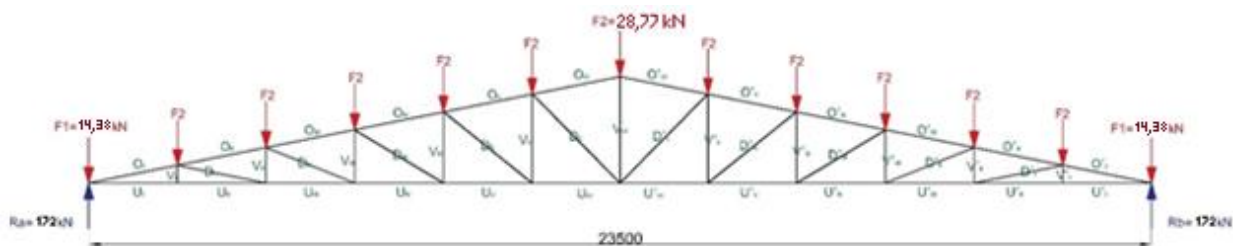
g – pikaajalise koormuste summa

p – lühiajalise koormuste summa

Leiame toereaktsiooni: (3.3.1.3)

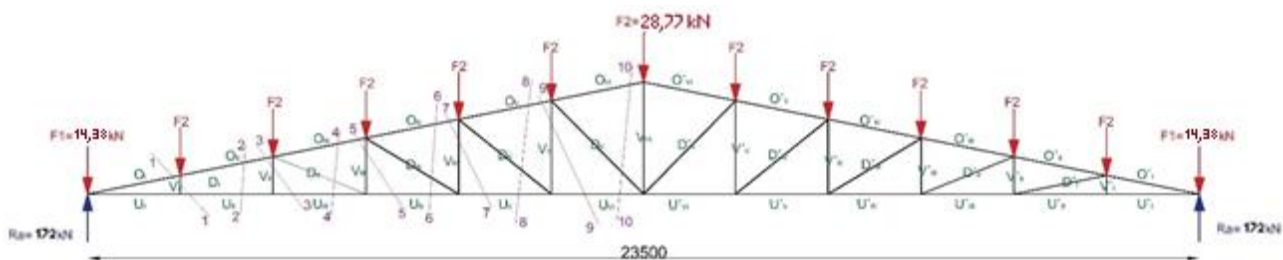
$$R_{a,b} = F_1 + 2 \times F_2 + \frac{F_2}{2} = 14,38 + 5 \times 28,77 + \frac{28,77}{2} = 172 \text{ kN}$$

Tähistame sõrestiku ülemise osa elementide sisejõu tähega O, alumise osa elementide sisejõu tähega U, diagonaalitudede sisejõu tähega D ja tugiposti sisejõu tähega V. Need tähed asendame allpool numbritega, mis vastavad sõrestiku elementide numbritele.



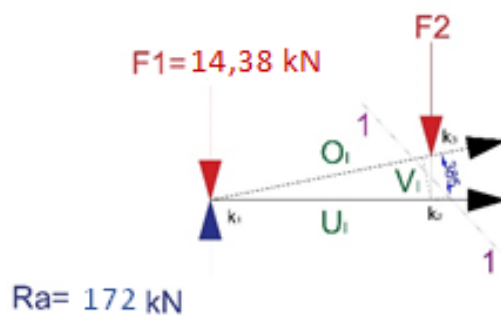
Joonis 3.3.1.1 toereaktsioon Ferma F-1

Momendipunkti võtte eeliseks on, et ta võimaldab leida sisejõu ühes sõrestikuvardas sõltumata teiste sõrestikuvarraste sisejõududest. Momendipunkti võtte puhul jagatakse sõrestiku arvutuskeem lõikega kaheks osaks. Lõigatakse läbi varras, mille sisejõudu otsitakse ja veel kaks varrast. Nende kahe läbilõigatud varda sihtide lõikepunkti nimetatakse momendipunktiks.



Joonis 3.3.1.2 Momendipunkti võtte Ferma F-1

3.3.2 Lõiged



Joonis 3.3.2.1 Lõige 1-1

Leiame survejõu O_I ülemise vöö I vardas:

Momendi punkt k_2

$$172 \times 2 - 14,38 \times 2 + O_I \times 0,385 = 0 \rightarrow O_I = \frac{14,38 \times 2 - 172 \times 2}{0,385} = -819 \text{ kN}$$

Leiame tõmbejõu V_I vertikaalsel vardas:

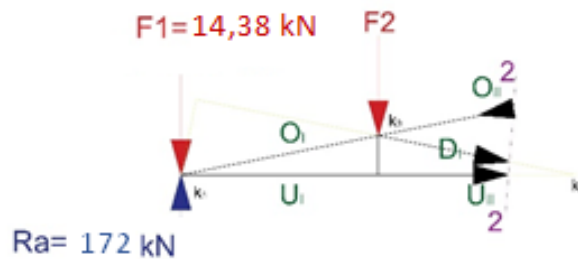
Momendi punkt k_1

$$172 \times 0 - 14,38 \times 0 + V_I \times 2 = 0 \rightarrow V_I = \frac{0}{2} = 0 \text{ kN}$$

Leiame tõmbejõu U_{II} alumise vöö II vardas:

Momendi punkt k_3

$$172 \times 2 - 14,38 \times 2 + U_{II} \times 0,392 = 0 \rightarrow U_{II} = \frac{-14,38 \times 2 - 172 \times 2}{-0,392} = 804 \text{ kN}$$



Joonis 3.3.2.2 Lõige 2-2

Leiame survejõu O_{II} ülemise vöö II vardas:

Momendi punkt k_4

$$172 \times 4 - 14,38 \times 4 - 28,77 \times 2 + O_{II} \times 0,77 = 0 \rightarrow O_{II} = \frac{14,38 \times 4 + 28,77 \times 2 - 172 \times 4}{0,77} = -743 \text{ kN}$$

Leiame survejõu D_I kald vardas I:

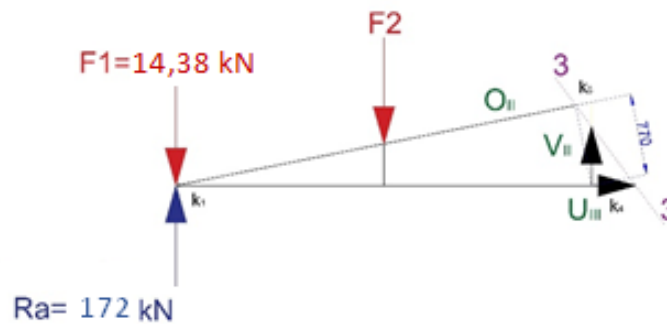
Momendi punkt k_1

$$172 \times 0 - 14,38 \times 0 + 28,77 \times 2 + D_I \times 0,77 = 0 \rightarrow D_I = \frac{-28,77 \times 2}{0,77} = -75 \text{ kN}$$

Leiame tõmbejõu U_{II} alumise vöö II vardas:

Momendi punkt k_3

$$172 \times 2 - 14,38 \times 2 - 0 + U_{II} \times 2 = 0 \rightarrow U_{II} = \frac{-14,38 \times 2 - 172 \times 2}{-0,392} = 950 \text{ kN}$$



Joonis 3.3.2.3 Lõige 3-3

Leiame survejõu O_{II} ülemise vöö II vardas:

Momendi punkt k_4

$$172 \times 4 - 14,38 \times 4 - 28,77 \times 2 + O_{II} \times 0,77 = 0 \rightarrow O_{II} = \frac{14,38 \times 4 + 28,77 \times 2 - 172 \times 4}{0,77}$$

$$= -781 \text{ kN}$$

Leiame tõmbejõu V_{II} vertikaalvardas II:

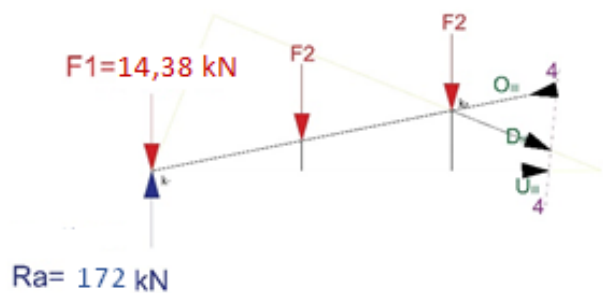
Momendi punkt k_1

$$172 \times 0 - 14,38 \times 0 + 28,77 \times 2 - V_{II} \times 4 = 0 \rightarrow V_{II} = \frac{28,77 \times 2}{4} = 14 \text{ kN}$$

Leiame tõmbejõu U_{III} alumise vöö III vardas:

Momendi punkt k_5

$$172 \times 4 - 14,38 \times 4 - 28,77 \times 2 - U_{III} \times 0,785 = 0 \rightarrow U_{III} = \frac{-14,38 \times 4 - 172 \times 4}{0,785} = 696 \text{ kN}$$



Joonis 3.3.2.4 Lõige 4-4

Leiame survejõu O_{III} ülemise vöö III vardas:

Momendi punkt k_6

$$172 \times 6 - 14,38 \times 6 - 28,77 \times 4 + O_{III} \times 1,176 = 0 \rightarrow O_{III} = \frac{14,38 \times 6 + 28,77 \times 4 - 172 \times 6}{1,176}$$

$$= -706 \text{ kN}$$

Leiame survejõu D_{II} kald vardas II:

Momendi punkt k_1

$$172 \times 0 - 14,38 \times 0 + 28,77 \times 4 + 28,77 \times 2 + D_{II} \times 2,18 = 0 \rightarrow D_{II} = \frac{-28,77 \times 4 - 28,77 \times 2}{2,18}$$

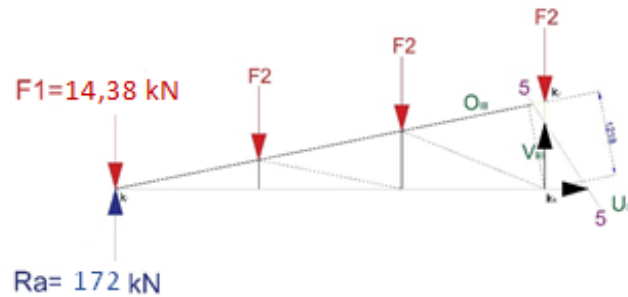
$$= -78 \text{ kN}$$

Leiame tõmbejõu U_{III} alumise vöö III vardas:

Momendi punkt k_5

$$172 \times 4 - 14,38 \times 4 - 28,77 \times 2 - 28,77 \times 0 - U_{III} \times 1,17 = 0 \rightarrow O_{III}$$

$$= \frac{14,38 \times 4 - 172 \times 4 + 28,77 \times 2}{-0,785} = 729 \text{ kN}$$



Joonis 3.3.2.5 Lõige 5-5

Leiame survejõu O_{III} ülemise vöö III vardas:

Momendi punkt k_6

$$172 \times 6 - 14,38 \times 6 - 28,77 \times 4 + O_{III} \times 1,218 = 0 \rightarrow O_{III} = \frac{14,38 \times 6 + 28,77 \times 4 - 172 \times 6}{1,218}$$

$$= -681 \text{ kN}$$

Leiame tõmbejõu V_{III} vertikaal vardas III:

Momendi punkt k_1

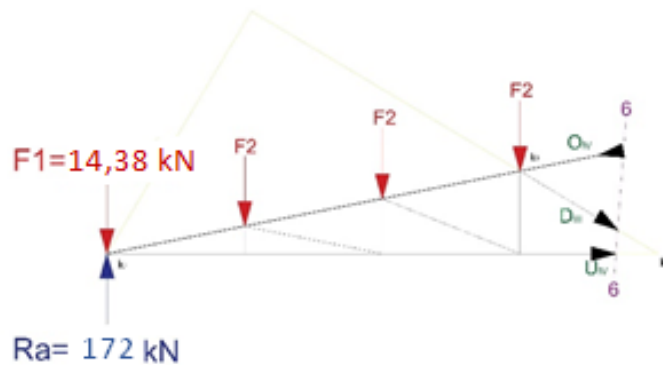
$$172 \times 0 - 14,38 \times 0 + 28,77 \times 6 - V_{III} \times 6 = 0 \rightarrow V_{III} = \frac{28,77 \times 6}{6} = 28 \text{ kN}$$

Leiame tõmbejõu U_{IV} alumise vöö IV vardas:

Momendi punkt k_7

$$172 \times 6 - 14,38 \times 6 - 28,77 \times 4 - 28,77 \times 2 - U_{IV} \times 1,176 = 0 \rightarrow U_{IV}$$

$$= \frac{14,38 \times 6 - 172 \times 6 + 28,77 \times 4 + 28,77 \times 2}{1,176} = 657 \text{ kN}$$



Joonis 3.3.2.6 Lõige 6-6

Leiame survejõu O_{IV} ülemise vöö IV vardas:

Momendi punkt k_8

$$172 \times 8 - 14,38 \times 8 - 28,77 \times 6 - 28,77 \times 4 - 28,77 \times 2 + O_{IV} \times 1,568 = 0 \rightarrow O_{IV}$$

$$= \frac{14,38 \times 8 + 28,77 \times 6 + 28,77 \times 4 + 28,77 \times 2 - 172 \times 8}{1,568} = -584 \text{ kN}$$

Leiame survejõu D_{III} kald vardas III:

Momendi punkt k_1

$$172 \times 0 - 14,38 \times 0 + 28,77 \times 6 + 28,77 \times 4 + 28,77 \times 2 + D_{III} \times 4,1 = 0 \rightarrow D_{III}$$

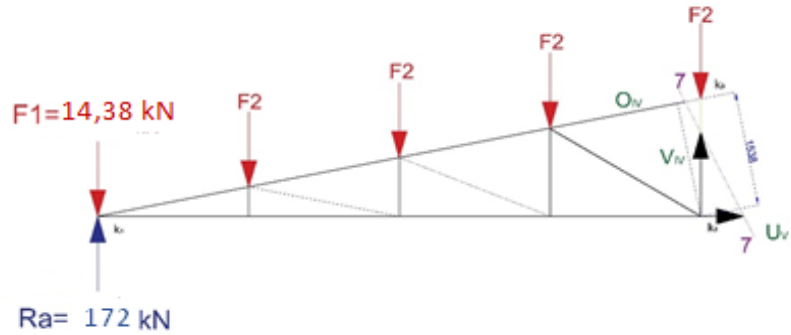
$$= \frac{-28,77 \times 6 - 28,77 \times 4 - 28,77 \times 2}{4,1} = -84 \text{ kN}$$

Leiame tõmbejõu U_{IV} alumise vöö IV vardas:

Momendi punkt k_7

$$172 \times 6 - 14,38 \times 6 - 28,77 \times 4 - 28,77 \times 2 - 28,77 \times 0 - U_{IV} \times 1,17 = 0 \rightarrow U_{IV}$$

$$= \frac{14,38 \times 6 - 172 \times 6 + 28,77 \times 4 + 28,77 \times 2}{1,17} = 660 \text{ kN}$$



Joonis 3.3.2.7 Lõige 7-7

Leiame survejõu O_{IV} ülemise vöö IV vardas:

Momendi punkt k_8

$$172 \times 8 - 14,38 \times 8 - 28,77 \times 6 + O_{IV} \times 1,536 = 0 \rightarrow O_{IV} = \frac{14,38 \times 8 + 28,77 \times 6 - 172 \times 6}{1,536}$$

$$= -485 \text{ kN}$$

Leiame tõmbejõu V_{IV} vertikaal vardas IV:

Momendi punkt k_1

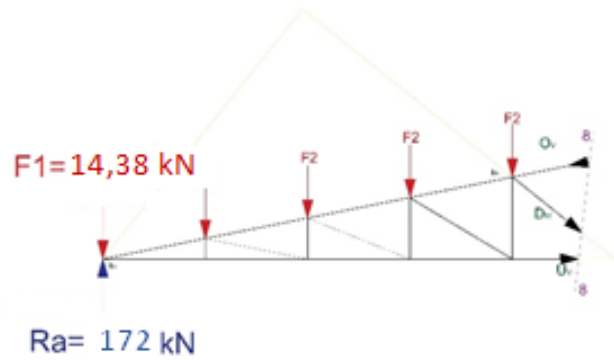
$$172 \times 0 - 14,38 \times 0 + 28,77 \times 8 - V_{IV} \times 6 = 0 \rightarrow V_{IV} = \frac{28,77 \times 8}{6} = 38 \text{ kN}$$

Leiame tõmbejõu U_{IV} alumise vöö IV vardas:

Momendi punkt k_9

$$172 \times 8 - 14,38 \times 8 - 28,77 \times 4 - 28,77 \times 4 - 28,77 \times 2 - U_{IV} \times 1,176 = 0 \rightarrow U_{IV}$$

$$= \frac{14,38 \times 8 - 172 \times 8 + 28,77 \times 6 + 28,77 \times 4 + 28,77 \times 2}{1,57} = 583 \text{ kN}$$



Joonis 3.3.2.8 Lõige 8-8

Leiame survejõu O_V ülemise vöö V vardas:

Momendi punkt k_{10}

$$172 \times 10 - 14,38 \times 10 - 28,77 \times 8 - 28,77 \times 6 - 28,77 \times 4 - 28,77 \times 2 + O_V \times 1,96 = 0 \rightarrow O_V$$

$$= \frac{14,38 \times 10 + 28,77 \times 8 + 28,77 \times 6 + 28,77 \times 4 + 28,77 \times 2 - 172 \times 10}{1,96} = -510N$$

Leiame survejõu D_{IV} kald vardas IV:

Momendi punkt k_1

$$172 \times 0 - 14,38 \times 0 + 28,77 \times 8 - 28,77 \times 6 + 28,77 \times 4 + 28,77 \times 2 + D_{IV} \times 6,13 = 0 \rightarrow D_{IV}$$

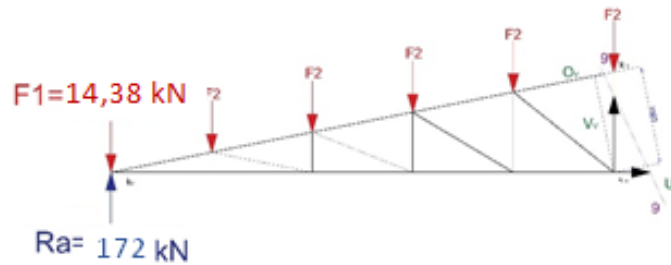
$$= \frac{-28,77 \times 8 - 28,77 \times 6 + 28,77 \times 4 + 28,77 \times 2}{6,13} = -38kN$$

Leiame tõmbejõu U_V alumise vöö V vardas:

Momendi punkt k_9

$$172 \times 8 - 14,38 \times 8 - 14,38 \times 6 - 28,77 \times 4 - 28,77 \times 2 - 28,77 \times 0 - U_V \times 1,57 = 0 \rightarrow +28,77 \times U_V$$

$$= \frac{14,38 \times 8 - 172 \times 8 + 28,77 \times 6 + 28,77 \times 4 + 28,77 \times 2}{1,57} = 583kN$$



Joonis 3.3.2.9 Lõige 9-9

Leiame survejõu O_V ülemise vöö V vardas:

Momendi punkt k_6

$$172 \times 10 - 14,38 \times 10 - 28,77 \times 8 - 28,77 \times 6 - 28,77 \times 4 - 28,77 \times 2 + O_V \times 1,96 = 0 \rightarrow O_V$$

$$= \frac{14,38 \times 10 + 28,77 \times 8 + 28,77 \times 6 + 28,77 \times 4 + 28,77 \times 2 - 172 \times 10}{1,96} = -488 \text{ kN}$$

Leiame tõmbejõu V_V vertikaal vardas V:

Momendi punkt k_1

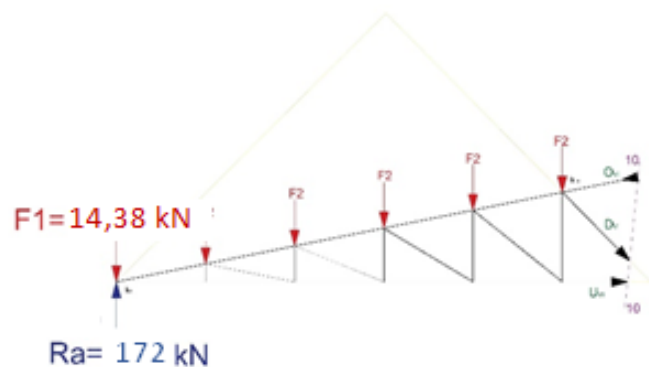
$$172 \times 0 - 14,38 \times 0 + 28,77 \times 10 - V_{III} \times 5 = 0 \rightarrow V_{III} = \frac{28,77 \times 10}{5} = 57 \text{ kN}$$

Leiame tõmbejõu U_V alumise vöö V vardas:

Momendi punkt k_7

$$172 \times 8 - 14,38 \times 8 - 14,38 \times 6 - 28,77 \times 4 - 28,77 \times 2 - 28,77 \times 0 - U_V \times 1,57 = 0 \rightarrow +28,77 \times U_V$$

$$= \frac{14,38 \times 8 - 172 \times 8 + 28,77 \times 6 + 28,77 \times 4 + 28,77 \times 2}{1,57} = 583 \text{ kN}$$



Joonis 3.3.2.10 Lõige 10-10

Leiame survejõu O_{VI} ülemise vöö VI vardas:

Momendi punkt k_{12}

$$\begin{aligned}
& 172 \times 12 - 14,38 \times 12 - 28,77 \times 10 - 28,77 \times 8 - 28,77 \times 6 - 28,77 \times 4 - 28,77 \times 2 + O_V \times 2,35 \\
& = 0 \rightarrow O_V = \frac{14,38 \times 12 + 28,77 \times 10 + 28,77 \times 8 + 28,77 \times 6 + 28,77 \times 4 + 28,77 \times 2 - 172 \times 12}{2,35} \\
& = -437 \text{ kN}
\end{aligned}$$

Leiame survejõu D_V kald vardas V:

Momendi punkt k_1

$$\begin{aligned}
& 172 \times 0 - 14,38 \times 0 + 28,77 \times 10 + 28,77 \times 8 + 28,77 \times 6 + 28,77 \times 4 + 28,77 \times 2 + D_V \times 8,34 = 0 \\
& \rightarrow D_V = \frac{-28,77 \times 10 - 28,77 \times 8 - 28,77 \times 6 - 28,77 \times 4 - 28,77 \times 2}{8,34} = -103 \text{ kN}
\end{aligned}$$

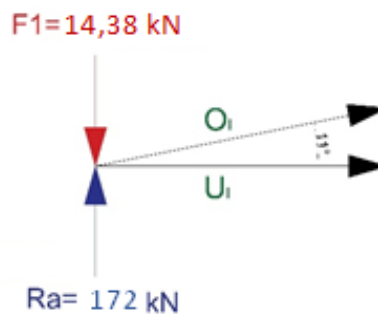
Leiame tõmbejõu U_{VI} alumise vöö VI vardas:

Momendi punkt k_{11}

$$\begin{aligned}
& 172 \times 10 - 14,38 \times 10 - 14,38 \times 6 - 28,77 \times 4 - 28,77 \times 2 - 28,77 \times 0 - U_V \times 1,57 = 0 \\
& \rightarrow +28,77 \times U_V \\
& = \frac{14,38 \times 10 - 172 \times 10 + 28,77 \times 8 + 28,77 \times 6 + 28,77 \times 4 + 28,77 \times 2}{1,96} = 510 \text{ kN}
\end{aligned}$$

Kuna vardas I ja vertkaasel vardas III pole võimalik leida jõupingutus momenti punkti meetodiga siis vaja lõigata välja sõlmed

Lõikame välja sõlme 1:

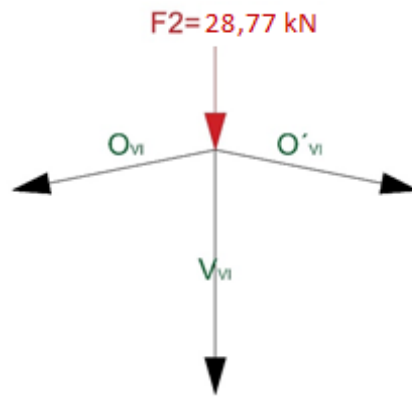


Joonis 3.3.2.11 Lõikame välja sõlme 1

Leiame survejõu U_I ülemise vöö I vardas:

$$U_I + O_I \times \cos 10^\circ = 0 \quad O_I = -O_I \times \cos 10^\circ = 781 \times \cos 10^\circ = 769 \text{ kN}$$

Lõikame välja sõlme 2:



Joonis 3.3.2.12 Lõikame valja sõlme 2

3.3.3 Tõmbejõu vertikaal vardas

Leiame tõmbejõu V_{VI} vertikaal vardas VI: (3.3.3.1)

$$\begin{aligned}
 V_{VI} + F2 + O_{VI} \times \sin 10^\circ + O'_{VI} \times \sin 10^\circ &= 0 \\
 V_{VI} &= -F2 + O_{VI} \times \sin 10^\circ - O'_{VI} \times \sin 10^\circ \\
 &= -28,77 + 419 \times 0,173 + 419 \times 0,173 = 116 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Taabel 3.3.3.1 Tõmbejõu vertikaal vardas

Talastiku elemendid	Varraste nummerdamine	Arvutuslik jõud	
		Surve	Tõmme
Ülemine vöö	OI;OI'	-819	-
	OII;OII'	-781	-
	OIII;OIII'	-681	-
	OVI;OVI'	-558	-
	OV;OV'	-488	-
	OVI;OVI'	-437	-
Alumine vöö	UI;UI'	-	750
	UII;UII'	-	696
	UIII;UIII'	-	672
	UVI;UVI'	-	583
	UV;UV'	-	583
	UVI;UVI'	-	510
Diagonaalid	DI;DI'	-75	-
	DII;DII'	-78	-
	DIII;DIII'	-84	-
	DVI;DVI'	-87	-
	DV;DV'	-103	-
Toed	VI;VI'	-	0
	VII;VII'	-	14
	VIII;VIII'	-	28

	VVI;VVI'	-	38
	VV;VV'	-	57
	VVI	-	116

(3.3.3.2)

$$A = \frac{N_{max}}{R_y}$$

Kus:

N_{max} –maksimaalne jõud elemendis

R_y – arvutuslikvastupanupikiudu

$$LiimpuitGL30h f_{c,0,g,k} = 30 \frac{N}{mm^2} \quad f_{m,g,k} = 30 \frac{N}{mm^2} f_{v,g,k} = 3,5 \frac{N}{mm^2} \quad f_{c,90,g,k} =$$

$$2,5 \frac{N}{mm^2} E_{0,g,mean} = 13600 \frac{N}{mm^2} \quad E_{0,0,5} = 11300 \frac{N}{mm^2} \rho_{g,k} = 430 \frac{kg}{m^3}$$

Ülemise vöö jaoks (surve)

Ülemine vöö koosneb varrastest $O_I, O_{II}, O_{III}, O_{IV}, O_V, O_{VI}, O_{VII}, O'_I, O'_{II}, O'_{III}, O'_{IV}, O'_V, O'_{VI}, O'_{VII}$

$$A = \frac{N_{max}}{R_y} = \frac{819 \times 10^3}{2450} = \frac{819000}{2450} = 334cm^2$$

Arvestades

Alumise vöö jaoks (tõmme)

Alumine vöö koosneb varrastest $U_I, U_{II}, U_{III}, U_{IV}, U_V, U_{VI}, U_{VII}, U'_I, U'_{II}, U'_{III}, U'_{IV}, U'_V, U'_{VI}, U'_{VII}$

$$A = \frac{N_{max}}{R_y} = \frac{750 \times 10^3}{1950} = \frac{750000}{1950} = 384cm^2$$

Tõmbevööle lisame 30% varuks

$$A = 384 \times 0,30 + 384 = 499cm^2$$

Tõmmatud vertikaalsed vardad

Tõmmatud vertikaalsed vardad koosnevad $V_I, V_{II}, V_{III}, V_{IV}, V_V, V_{VI}, V'_I, V'_{II}, V'_{III}, V'_{IV}, V'_V$

$$A = \frac{N_{max}}{R_y} = \frac{116 \times 10^3}{1950} = \frac{116000}{1950} = 59cm^2$$

Tsentraalselt surutud kaldvardad

Tsentraalselt surutud kaldvardad koosnevad $D_I, D_{II}, D_{III}, D_{IV}, D_V, D'_I, D'_{II}, D'_{III}, D'_{IV}, D'_V$

$$A = \frac{N_{max}}{R_y} = \frac{103 \times 10^3}{1950} = \frac{103000}{1950} = 52cm^2$$

Taabel 3.3.3.2 Ristlõike dimensioneerimine

	Pindala, A	Ristlõige	Mass 1m	Kogu mass
Ülemine vöö	384	140x240(h)	0,15	3,6
Alumine vöö	499	140x360(h)	0,22	5,17
Vertikaalsed vardad	59	45x160(h)	0,03	0,429
Diagonaalid	52	45x120(h)	0,023	0,5336
			Summa	9,7326

3.4 Peakandja sõlmede arvutus

Sõlmühenduses on kasutatud terasplaate terasest paksusega $t = 8\text{mm}$, mis on paigutatud sissefreesitud piludesse järgmiste normsuurustega: voolavuspiir $f_{y,k} = 235\text{ N/mm}^2$, tõmbetugevus $f_u = 360\text{ N/mm}^2$, elastsusmoodul $E = 210000\text{ N/mm}^2$. Ühenduses kasutatakse terasnaaglid $\varnothing = 16\text{mm}$

Alumise vöö tõmmatud elementi arvutus

Poltliite tugevustingimus

$F_{Rd} > NP$ uidu liigi tegur

$$k_{90} = 1,30 + 0,015 \times 16 = 1,54$$

Resultantjõudu horisontaalsuunalist component (3.4.1)

$$F_{H,D} = \sum N * \cos\beta$$

β_1 – nurktõmmatud diagonaalijaalumisevöövahel β_2

– nurksurutud diagonaalijaalumisevöövahel

Resultantjõudu vertikaalsuunalist component (3.4.2)

$$F_{V,D} = \sum N * \sin\beta + N_{post}$$

$$F_{H,D} = 98 \times \cos 45 + 488 \times \cos 0 = 557\text{kN}$$

$$F_{V,D} = -98 \times \sin 45 + 488 \times \sin 0 + 133 = 64\text{kN}$$

Summaarne resultantjõud kahe diagonaali ja vertikaalposti koostöös:

$$F_R = \sqrt{557^2 + 64^2} = 560\text{kN}$$

Voolupiirile vastava momendi normväärtus

$$M_{y,Rk} = 0,3 \times 640 \times 16^{2,6} = 259425 Nmm$$

Muljumistugevuse normväärtus pikikiudu (3.4.3)

$$f_{h,k} = 0,082 \times (1 - 0,01d)\rho_{g,k} = 0,082 \times (1 - 0,01 \times 16) \times 385 = 26,5 \frac{N}{mm^2}$$

Puitelemendi vähim äärepeksum on leidav seosega: (3.4.4)

$$t_1 = \frac{b - t}{2} = \frac{140 - 10}{2} = 65 mm$$

Kus: b – on elemendi paksum

t – terasplaadi paksum

Vastavalt eelmainitud seosele on poldi diameetriga 16mm ühe nihkepinna normatiivne kandevõime $F_{v,Rk}$ on: (3.4.5)

$$F_{v,Rk} = f_{h,k} \times t_1 \times d \left[\sqrt{2 + \frac{4M_{y,Rk}}{f_{h,k} \times d \times t_1^2}} - 1 \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} = 26,4 \times 65 \times 16 \left[\sqrt{2 + \frac{4 \times 2594950}{26,5 \times 16 \times 65^2}} - 1 \right] \\ = 49,3 kN$$

Poldi ühe nihkepinna arvutuslik kandevõime:

$$F_{v,Rd} = \frac{49,3 \times 0,8}{1,25} = 31,5 kN$$

Vajalik poltide arv kahelõikelises liites:

$$n = \frac{N}{2 * F_{v,Rd}} = \frac{560}{2 \times 31,5} = 8,8 tk$$

Valitakse $m = 2$ ridu polte ja igas reas on 5 polte.

Poltide vahekaugused ja kaugused otsast või servast: (3.4.6)

$a_1 = 120 mm$; $a_2 = 4d = 64 mm$; $a_3, t = 7d = 112 mm$; $a_3, c = 4d = 64 mm$; $a_4, t = 3d = 48 mm$;
 $a_4, c = 3d = 48 mm$

Diagonaali tõmmatud elementi arvutus

Poltiliite tugevustingimus

$F_{Rd} > NP$ uidu liiki tegur

$$k_{90} = 1,30 + 0,015 \times 16 = 1,54$$

Resultantjõudu horisontaalsuunalist component (3.4.7)

$$F_{H,D} = \sum N * \cos\beta$$

β_1 – nurktõmmatuddiagonaalijaalumisevõovahel β_2
 – nurksurutuddiagonaalijaalumisevõovahel

Resultantjõudu vertikaalsuunalist component (3.4.8)

$$F_{V,D} = \sum N * \sin\beta + N_{post}$$

$$F_{H,D} = 98 \times \cos 45 + 90 \times \cos 0 = 69 \text{ kN}$$

$$F_{V,D} = -98 \times \sin 0 + 90 \times \sin 45 + -98 \text{ kN}$$

Summaarne resultantjõud kahe diagonaali ja vertikaalposti koostöös:

$$F_R = \sqrt{98^2 - 69^2} = 70 \text{ kN}$$

Voolupiirile vastava momendi normväärtus

$$M_{y,Rk} = 0,3 \times 640 \times 16^{2,6} = 259425 \text{ Nmm}$$

Muljumistugevuse normväärtus pikikiudu

$$f_{h,k} = 0,082 \times (1 - 0,01d) \rho_{g,k} = 0,082 \times (1 - 0,01 \times 16) \times 385 = 26,5 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Puitelemendi vähim äärepeksumus on leidav seosega:

$$t_1 = \frac{b - t}{2} = \frac{140 - 10}{2} = 65 \text{ mm}$$

Kus: b – on elemendi paksus

t – terasplaadi paksus

Vastavalt eelmainitud seosele on poldi diameetriga 16mm ühe nihkepinna normatiivne kandeõime $F_{v,Rk}$ on: (3.4.7)

$$F_{v,Rk} = f_{h,k} \times t_1 \times d \left[\sqrt{2 + \frac{4M_{y,Rk}}{f_{h,k} \times d \times t_1^2}} - 1 \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} = 26,4 \times 65 \times 16 \left[\sqrt{2 + \frac{4 \times 2594950}{26,4 \times 16 \times 65^2}} - 1 \right]$$

$$= 49,3 \text{ kN}$$

Poldi ühe nihkepinna arvutuslik kandeõime:

$$F_{v,Rd} = \frac{49,3 \times 0,8}{1,25} = 31,5 \text{ kN}$$

Vajalik poltide arv kahelõikelises liites:

$$n = \frac{N}{2 * F_{v,Rd}} = \frac{70}{2 * 31,5} = 1,1tk$$

Valitakse $m = 2$ ridu polte ja igas reas on 1 polte.

Poltide vahekaugused ja kaugused otsast või servast:

$a_1=120\text{mm}$; $a_2=4d=64\text{mm}$; $a_{3,t}=7d=112\text{mm}$; $a_{3,c}=4d=64\text{mm}$; $a_{4,t}=3d=48\text{mm}$;
 $a_{4,c}=3d=48\text{mm}$

Fermi nurka tõmmatud elementi arvutus

Poltiite tugevustingimus

$F_{Rd} > NP$ uidu liiki tegur

$$k_{90} = 1,30 + 0,015 \times 16 = 1,54$$

Resultantjõudu horisontaalsuunalist component

$$F_{H,D} = \sum N * \cos\beta$$

β_1 – nurktõmmatud diagonaalijaalumisevõvahel β_2

– nurksurutud diagonaalijaalumisevõvahel

Resultantjõudu vertikaalsuunalist component

$$F_{V,D} = \sum N * \sin\beta + N_{post}$$

$$F_{H,D} = 787 \times \cos 11 + 761 \times \cos 79 = 917 \text{ kN}$$

$$F_{V,D} = -787 \times \sin 11 - 761 \times \sin 79 + -579 \text{ kN}$$

Summaarne resultantjõud kahe diagonaali ja vertikaalposti koostöös:

$$F_R = \sqrt{98^2 - 69^2} = 711 \text{ kN}$$

Voolupiirile vastava momendi normväärtus

$$M_{y,Rk} = 0,3 \times 640 \times 16^{2,6} = 259425 \text{ Nmm}$$

Muljumistugevuse normväärtus pikikiudu

$$f_{h,k} = 0,082 \times (1 - 0,01d) \rho_{g,k} = 0,082 \times (1 - 0,01 \times 16) \times 385 = 26,5 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Puitelemendi vähim äärepeaksus on leidav seosega:

$$t_1 = \frac{b - t}{2} = \frac{140 - 10}{2} = 65 \text{ mm}$$

Kus: b – on elemendi paksus

t – terasplaadi paksus

Vastavalt eelmainitud seosele on poldi diameetriga 16mm ühe nihkepinna normatiivne kandevoime $F_{v,Rk}$ on:

$$F_{v,Rk} = f_{h,k} \times t_1 \times d \left[\sqrt{2 + \frac{4M_{y,Rk}}{f_{h,k} \times d \times t_1^2}} - 1 \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} = 26,4 \times 65 \times 16 \left[\sqrt{2 + \frac{4 \times 2594950}{26,4 \times 16 \times 65^2}} - 1 \right]$$

$$= 49,3 \text{ kN}$$

Poldi ühe nihkepinna arvutuslik kandevoime:

$$F_{v,Rd} = \frac{49,3 \times 0,8}{1,25} = 31,5 \text{ kN}$$

Vajalik poltide arv kahelöikelises liites:

$$n = \frac{N}{2 * F_{v,Rd}} = \frac{711}{2 \times 31,5} = 1,1 \text{ tk}$$

Valitakse $m = 2$ ridu polte ja igas reas on 11 polte.

Poltide vahekaugused ja kaugused otsast või servast:

$a_1 = 120 \text{ mm}$; $a_2 = 4d = 64 \text{ mm}$; $a_3, t = 7d = 112 \text{ mm}$; $a_3, c = 4d = 64 \text{ mm}$; $a_4, t = 3d = 48 \text{ mm}$;
 $a_4, c = 3d = 48 \text{ mm}$

3.5 Peakandekonstruktsioone toetavate postude valik ja arvutus

3.5.1 Materjalid

Postid valmistatakse liimpuidust ristlõike mõõtmetega 200x420 mm ja pikkusega 6,0 meetrit.

Liimpuidu tugevusklass GL24c.

Kasutusklass 1 ja keskkestva koormuse puhul modifikatsioonitegur $k_{mod} = 0,80$

Liimpuidu norm- ja arvutussuurused:

$$f_{m,g,k} = 24 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad f_{m,g,d} = 15,4 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad f_{v,g,d} = 2,24 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad f_{c,0,g,k} =$$

$$21,5 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$f_{c,0,g,d} = 13,8 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad E_{0,g,0,5} = 9100 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\rho_{g,k} = 365 \frac{kg}{m^3}$$

Rahvastiku lisa kohaselt materjali osavarutegur $\gamma_m = 1,25$

3.5.2 Koormused

Alaline

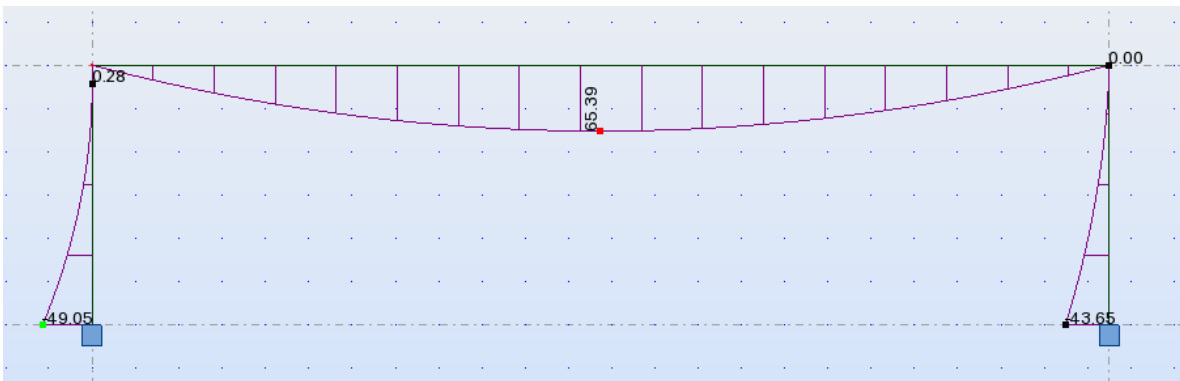
$$N_{0,d} = \frac{(9,73 + 0,49 \times 141)}{2} \times 1,25 = 49,25 kN - \text{katuse konstruktsiooni omakaal}$$

$$N_{p,d} = (0,2 \times 0,24 \times 6 \times 0,03) \times 1,25 = 2,29 kN - \text{posti omakaal}$$

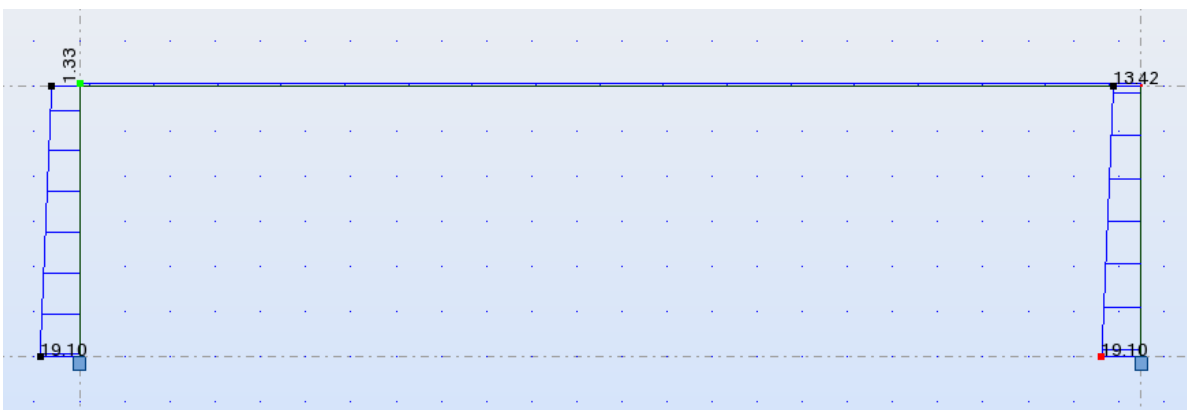
Muutuv

$$N_{1,d} = \frac{1,2 \times 1,5 \times 141}{2} = 126,9 kN - \text{lumekoormus}$$

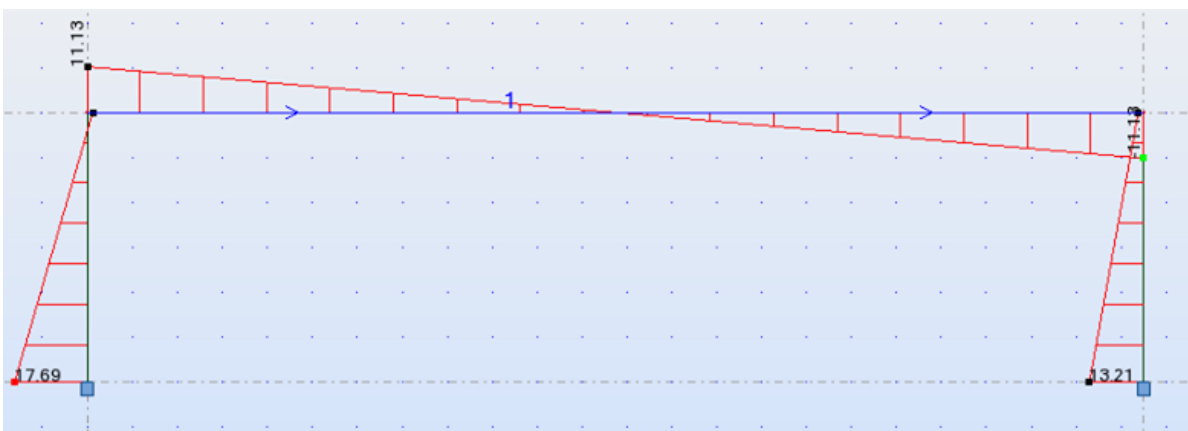
$$W_{c,s,d} = 3,17 kN/m \quad W_{c,i,d} = 1,98 kN/m$$



Joonis 3.5.2.1 Epüürid M^V ja M^P



Joonis 3.5.2.2 Epüürid N^V ja N^P



Joonis 3.5.2.3 Epüürid Q^V ja Q^P

Arvutuskeemi järgi saame tundmatu sisejõu avaldada (3.5.2.1)

$$X = \frac{3}{16}(W_{c,s,d} - W_{c,i,d}) \times H = \frac{3}{16}(3,17 - 1,98) \times 6 = 1,33kN$$

$$M = M_0 \pm XHV = V_0 \pm X$$

$$M^V = \frac{3,17 \times 6^2}{2} = 49,05kNm$$

$$M^P = \frac{1,98 \times 6^2}{2} = 43,65kNm$$

$$Q^V = 3,17 \times 6 - 1,2 = 17,69kN$$

$$Q^P = 1,98 \times 6 + 1,2 = 13,21kN$$

Posti tugevusarvutus

$$l_{ef} = 2H$$

3.5.3 Stabiilsuskontroll raami tasapinnas

Postid valmistatakse liimpuidust ristlõike mõõtmetega 200x440 mm ja pikkusega 6,0 meetrit.

Liimpuidu tugevusklass GL24c.

Stabiilsuskontroll raami tasapinnas

Inertsiraadius (3.5.3.1)

$$i_z = \sqrt{\frac{I_z}{A}} = \sqrt{\frac{200 \times 440^3}{12 \times 200 \times 440}} = 127,01mm$$

Posti saledus (3.5.3.2)

$$\lambda_z = \frac{l_{ef}}{i_z} = \frac{2 \times 6000}{127,01} = 94,48$$

Suhteline saledus (3.5.3.3)

$$\lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{3,14} \sqrt{\frac{f_{c,0,g,k}}{E_{0,g,0,5}}} = \frac{94,48}{3,14} \sqrt{\frac{21,5}{9100}} = 1,46$$

$$\beta_c = 0,1 \text{ liimpuit}$$

$$k_z = 0,5(1 + \beta_c(\lambda_{rel,z} - 0,3) + \lambda_{rel,z}^2) = 0,5(1 + 0,1(1,46 - 0,3) + 1,46^2) = 1,62$$

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = \frac{1}{1,29 + \sqrt{1,62^2 - 1,46^2}} = 0,50$$

Arvutuslikud survepinged postis (3.5.3.4)

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{0,d} + N_{p,d} + N_{1,d}}{A} = \frac{(49,25 + 2,29 + 126,9) \times 10^3}{440 \times 200} = 2 \text{ MPa}$$

Arvutuslikud paindepinged postis (3.5.3.5)

$$\sigma_{m,0,d} = \frac{M_d}{W_z} = \frac{49,05 \times 6 \times 10^6}{200 \times 440^2} = 7,60 \text{ MPa}$$

Tugevustingimuste kontroll (3.5.3.6)

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \times f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,0,d}} = \frac{2}{0,50 \times 13,44} + \frac{7,60}{15,36} = 0,30 + 0,49 = 0,79 < 1 - \text{ok}$$

Stabiilsuskontroll raami tasapinnaga risti

Efektiivne pikkus raami tasapinnaga risti $l_{ef} = H = 6 \text{ m}$

Inertsiraadius

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{440 \times 200^3}{12 \times 200 \times 440}} = 57,74 \text{ mm}$$

Posti saledus

$$\lambda_y = \frac{l_{ef}}{i_y} = \frac{6000}{57,74} = 103,91$$

Suhteline saledus

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{3,14} \sqrt{\frac{f_{c,0,g,k}}{E_{0,g,0,5}}} = \frac{103,91}{3,14} \sqrt{\frac{21,5}{9100}} = 1,61$$

$$\beta_c = 0,1 \text{ liimpuit}$$

$$k_y = 0,5(1 + \beta_c(\lambda_{rel,y} - 0,3) + \lambda_{rel,y}^2) = 0,5(1 + 0,1(1,61 - 0,3) + 1,61^2) = 1,86$$

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = \frac{1}{1,86 + \sqrt{1,86^2 - 1,61^2}} = 0,36$$

Arvutuslikud survepinged postis

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{0,d} + N_{p,d} + N_{1,d}}{A} = \frac{(49,25 + 2,29 + 126,9) \times 10^3}{440 \times 200} = 2 \text{ MPa}$$

Tugevustingimuste kontroll

$$\frac{\sigma_{c,0,g,d}}{k_{c,y} \times f_{c,0,g,d}} = \frac{2}{0,36 \times 13,44} = 0,41 < 1 - ok$$

Kontroll pöikjõule

$$\tau_d = \frac{1,5Q^V}{k_{cr} \times b \times h} = \frac{1,5 \times 17690}{0,67 \times 200 \times 440} = 0,45 MPa$$

Kus $k_{cr} = 0,67$

Tugevustingimus

$\tau_d \leq f_{v,g,d} \rightarrow 0,45 MPa \leq 2,24 MPa$ tugevustingimus täidetud

Posti kinnituse arvutus vundamendi külge

Sisejõud:

$$M^V = M_{Ed} = 49,05 kNm \quad N^V = N_{Ed} = 191 kN \quad Q^V = V_{Ed} = 17,69 kN$$

Terasplaadi paksus $t = 20 mm$, S355, $f_u = 355 \frac{N}{mm^2}$

Betoon C25/30 $f_{cd} = 16,7 \frac{N}{mm^2}$

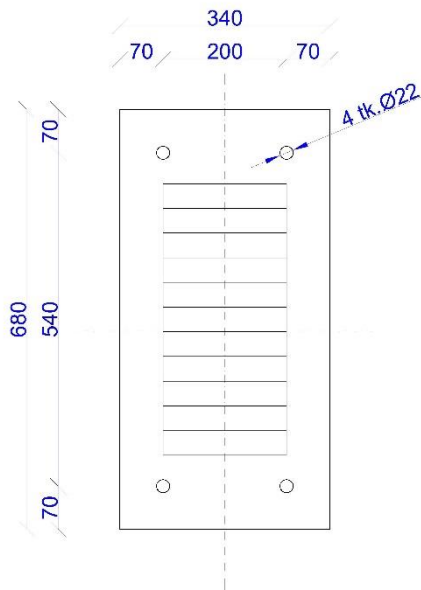
Ankurpoldid M20, $\emptyset 20 mm$, keermestatud osa $A_s = 245 mm^2$

Tugevusklass 8.8 $f_{ub} = 800 \frac{N}{mm^2}$

Kinnitusvahendite aukude vahekaugused terasplaadis

$$\begin{aligned} d &= 20 mm \quad d_0 = 20 + 2 = 22 mm \quad e_1 = 70 mm > 1,2 \times d_0 = 1,2 \times 22 = 26,4 mm \quad e_2 = 50 mm > 1,2 \times d_0 \\ &= 1,2 \times 22 = 26,4 mm \quad p_1 = 200 mm > 2,2 \times d_0 = 2,2 \times 22 = 48,4 mm \quad p_2 = 540 mm \\ &> 2,4 \times d_0 = 2,4 \times 22 = 52,8 mm \end{aligned}$$

3.5.4 Alusplaadi kontroll



Joonis 3.5.4.1 Sõlm C

Vundamendi arvutustugevus, eeldusel, et järelvalu normtugevus on vähemalt 20% vundamendi betooni tugevusest ja järelvalu paksus ei ületa 0,2 kordset alusplaadi kitsamat mõõdu:

(3.5.4.1)

$$f_j = \beta_j \times k_j \times f_{cd} = \frac{2}{3} \times 1 \times 16,7 = 11,1 \frac{N}{mm^2}$$

Alusplaadi töötava riba laius, kui alusplaadi paksus on $t = 20mm$

(3.5.4.2)

$$c = t \times \sqrt{\frac{f_u}{3 \times f_j}} = 20 \times \sqrt{\frac{355}{3 \times 11,1}} = 65mm$$

Kuna alusplaadi $t = 20mm > 16mm$, on terase voolavuspiir $f_u = 345 \frac{N}{mm}$

Välisjõudude moment ankrupoltide suhtes:

(3.5.4.3)

$$M_a = N_{Ed} \times a + M_{Ed} = 191 \times 0,270 + 57,07 = 108,64kNm$$

Survetsooni laius alusplaadi all (lugedes parempoolsest otsast)

(3.5.4.4)

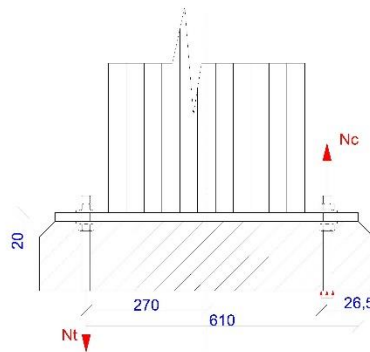
$$z_b = d - \sqrt{d^2 - \frac{2 \times M_a}{f_j \times B}} = 590 - \sqrt{590^2 - \frac{2 \times 108,64 \times 10^6}{11,1 \times 640}} = 26,5mm$$

Ankrupoltide telje kaugus survetsooni keskkohast:

(3.5.4.5)

$$z_a = d - \frac{z_b}{2} = 590 - \frac{26,5}{2} = 577\text{mm}$$

Betooni reaktsioonist tingitud arvutuslik paindemoment plaadi parempoolse konsoolse osa all (ühiklause kohta), kui survetsoon ei ulatu postiprofilini:



Joonis 3.5.4.2 Betooni reaktsioonist tingitud arvutuslik paindemoment

(3.5.4.6)

$$m_{Ed} = f_j \times z_b \times \left(c - \frac{z_b}{2} \right) = 11,1 \times 26,5 \times \left(65 - \frac{26,5}{2} \right) = 15222 \frac{N}{\text{mm}^2}$$

Plaadi ühiklause kandevõime:

$$m_{Rd} = f_y \times W = \frac{f_u \times t^2}{6} = \frac{345 \times 20^2}{6} = 23000 \frac{N}{\text{mm}^2}$$

$$m_{Rd} = 23000 \frac{N}{\text{mm}^2} \geq m_{Ed} = 15222 \frac{N}{\text{mm}^2}$$

Seega on plaadi kandevõime tagatud!

Ankurpoltide muljumise kontroll:

(3.5.4.7)

$$a_b = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{e_1}{3 \times d_0} = \frac{70}{66} = 1,06 \\ \frac{f_{ub}}{f_u} = \frac{800}{345} = 2,31 \\ \frac{p_1}{3 \times d_0} - 0,25 = \frac{200}{66} - 0,25 = 2,78 \end{array} \right. \quad a_b = 1,06$$

$$k_1 = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{2,8 \times e_2}{d_0} - 1,7 = \frac{2,8 \times 50}{22} - 1,7 = 4,6 \\ \frac{1,4 \times p_2}{d_0} - 1,7 = \frac{1,4 \times 540}{22} - 1,7 = 32,6 \end{array} \right. \quad k_1 = 2,5$$

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \times \alpha_b \times f_u \times d \times t}{\gamma_M} = \frac{2,5 \times 1,06 \times 800 \times 20 \times 20}{1,25} = 678,4 \text{ kN} > V_{Ed} = 17,69 \text{ kN}$$

Ankrupoltide muljumiskandevõime tagatud!

Ankrupoltide summaarne arvutuslik tõmbejõud:

$$F_{t,Ed} = \frac{M_{Ed} - N_{Ed} \times (z_a - a)}{z_a} = \frac{57,07 - 191 \times (0,577 - 0,270)}{0,577} = 30,3 \text{ kN}$$

Leian ühe M20 poldi tõmbekandevõime:

$$F_{t,Rd} = \frac{0,9 \times f_{ub} \times A_s}{\gamma_M} = \frac{0,9 \times 800 \times 245 \times 10^{-3}}{1,25} = 141,12 \text{ kN} > F_{t,Ed} = 30,3 \text{ kN}$$

Leian ühe M20 poldi lõikekandevõime:

$$F_{v,Rd} = \frac{0,6 \times f_{ub} \times A_s}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \times 800 \times 245 \times 10^{-3}}{1,25} = 94,1 \text{ kN} > \frac{V_{Ed}}{2} = \frac{17,69}{2} = 8,9 \text{ kN}$$

Tõmbe- ja lõikejõuga üheaegselt koormatud poldi kandevõime:

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4 \times F_{t,Rd}} = \frac{17,69}{94,1} + \frac{30,3}{1,4 \times 141,12} = 0,19 + 0,16 = 0,35 < 1$$

Seega on ankrupoltide tõmbekandevõime on tagatud!

Alusplaadi kontroll ankrupoltide jõust:

Arvutuslik paindemoment ankrupoltide tõmbejõust:

$$M_{Ed} = F_{t,Ed} \times e = 30,3 \times 2 \times 0,07 = 4,25 \text{ kNm}$$

Leiame alusplaadi arvutusliku paindekandevõime:

$$M_{Rd} = \frac{B \times t^2}{6} \times f_y = \frac{340 \times 20^2}{6} \times 345 \times 10^{-6} = 7,82 \text{ kNm} > 4,25 \text{ kNm}$$

Kandevõimeontagatud!

Sisefreesitud terasega puitposti kandevõime

Kasutusklass 1 ja keskestva koormuse puhul modifikatsioonitegur $k_{mod} = 0,80$, liimpuit GL24c

Liimpuidu norm- ja arvutussuurused:

$$f_{m,g,k} = 24 \frac{N}{mm^2} \quad f_{m,g,d} = 15,4 \frac{N}{mm^2} \quad f_{v,g,d} = 2,24 \frac{N}{mm^2} \quad f_{c,0,g,k} =$$

$$21,5 \frac{N}{mm^2}$$

$$f_{c,0,g,d} = 13,8 \frac{N}{mm^2} \quad E_{0,g,0,5} = 9100 \frac{N}{mm^2}$$

$$\rho_{g,k} = 365 \frac{kg}{m^3}$$

Rahvastiku lisa kohaselt materjali osavarutegur $\gamma_m = 1,25$

$$M^V = M_{Ed} = 49,05 kNm N^V = N_{Ed} = 191 kN Q^V = V_{Ed} = 17,69 kN$$

Paindemomendi ja pikijõuga koormatud jälg (3.5.4.8)

$$\sum M f_t = 0$$

$$\left(N \times \frac{d}{2} + M \right) - f_{c,0,g,d} \times B \times x \times \left(d - \frac{x}{2} \right) = 0$$

Välisjõudude moment tõmbetsooni suhtes

$$M_a = N_{Ed} \times \frac{a}{2} + M_{Ed} = 191 \times \frac{0,28}{2} + 49,05 = 75,79 kNm$$

Surve ja tõmbejõu õlg

$$a = d - \frac{x}{2}$$

Ruutvõrrand (3.5.4.9)

$$M_a - f_{c,0,g,d} \times B \times x \left(d - \frac{x}{2} \right) = 0$$

$$M_a - f_{c,0,g,d} \times B \times x \times d + f_{c,0,g,d} \times B \times \frac{x^2}{2} = \frac{0 / f_{c,0,g,d} \times B}{2}$$

$$x^2 - 2 \times d \times x + \frac{2 \times M_a}{f_{c,0,g,d} \times B} = 0$$

$$x = d - \sqrt{d^2 - \frac{2 \times M_a}{f_{c,0,g,d} \times B}} = 360 - \sqrt{360^2 - \frac{2 \times 75,79 \times 10^6}{13,8 \times 94 \times 2}} = 93 mm$$

Tõmbejõu F_t leidmine

$$\sum M f_c = 0$$

$$-N \times \left(\frac{h}{2} - \frac{x}{2} \right) + M - F_t \left(d - \frac{x}{2} \right) = 0$$

$$F_t = \frac{-N \left(\frac{h}{2} - \frac{x}{2} \right) + M}{\left(d - \frac{x}{2} \right)} = \frac{-191 \left(\frac{440}{2} - \frac{93}{2} \right) + 49,05}{\left(360 - \frac{93}{2} \right)} = \frac{-42020 + 8881,5 + 49,05}{313,5} = 105 kN$$

Poltide kandevõime

Poltide M20, süvitissügavus 94 mm, 4.8 klass

$$f_{u,k} = 600 \frac{N}{mm^2}$$

Puidu normatiivne muljumistugevus

$$f_{h,1,k} = 0,082 \times (1 - 0,01 \times d) \times \rho_k = 0,082 \times (1 - 0,01 \times 20) \times 365 = 22,7 \frac{N}{mm^2}$$

Poldi normatiivne paindekandevõime

$$M_{y,Rk} = 0,3 \times f_{u,k} \times d^{2,6} = 0,3 \times 800 \times 20^{2,6} = 930594 Nmm = 940 kNmm$$

Kahelõikelise liite kandevõime keskmise terasplaadi korral:

$$R_{k,min} = 30,8 kN$$

(3.5.4.10)

$$F_{v,Rk} = f_{h,1,k} \times t_1 \times d = 22,7 \times 68 \times 20 = 30,8 kN$$

$$F_{v,Rk} = f_{h,1,k} \times t_1 \times d \times \left(\sqrt{2 + \frac{4 \times M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} \times d \times t^2}} - 1 \right) = 22,7 \times 68 \times 20 \times \left(\sqrt{2 + \frac{4 \times 930594}{22,7 \times 20 \times 68^2}} - 1 \right) \\ = 53,1 kN$$

$$F_{v,Rk} = 2,3 \times \sqrt{M_{y,Rk} \times f_{h,1,k} \times d} = 2,3 \times \sqrt{930594 \times 22,7 \times 20} = 48,7 kN$$

$$F_{v,Rd} = \frac{k_{mod} \times F_{v,Rk}}{\gamma_m} = \frac{0,8 \times 30,8}{1,3} = 18,8 kN$$

Efektívne poltide arv

$$n_{ef} = \min \left\{ 5^{0,9} \times \sqrt[4]{\frac{120}{13 \times 20}} = 5^{0,9} \times 0,79 = 4,25 \right\}$$

Kokku

$$R_d = 2 \times 4,25 \times 18,8 = 159 kN > 105 kN$$

Liite järeleandvus

Hetkeline nihkemoodul:

$$K_{ser} = \frac{p_k^{1,5} \times d}{23} = \frac{365^{1,5} \times 24}{23} = 7276 \frac{N}{mm^2}$$

Kahelõikeline teras-puitliide $2 \times 2 \times 7276 = 29104 \frac{N}{mm^2}$

$$K_u = \frac{2}{3} \times K_{ser} = \frac{2}{3} \times 29104 = 19403 \frac{N}{mm^2}$$

$$u_{ser} = \frac{F_t}{n \times K_{ser}} = \frac{105 \times 10^3}{10 \times 29104} = 0,36 + 1 = 1,36mm$$

Sõrme pöördnurk

$$\varphi_{ser} = \frac{u_{ser}}{a} = \frac{1,36}{d - \frac{x}{2}} = \frac{1,36}{313,5} = 0,00433rad$$

Paindemoodul

$$K_{\varphi,ser} = \frac{M_{Ed}}{\varphi_{ser}} = \frac{49,05}{0,00433} = 11306kNm$$

3.6 Seinapaneeli arvutus

3.6.1 Seinapaneeli arvutus

Kontrollida 2,00×6,0 m vineer-puitpaneeli kandevõimet! Konstruktsiooni kasutusklass on 2 ja koormuse kestvusklass on lühiajaline. Sein toetub vundamendile ja on kinnitatud nurkadega posti külge.

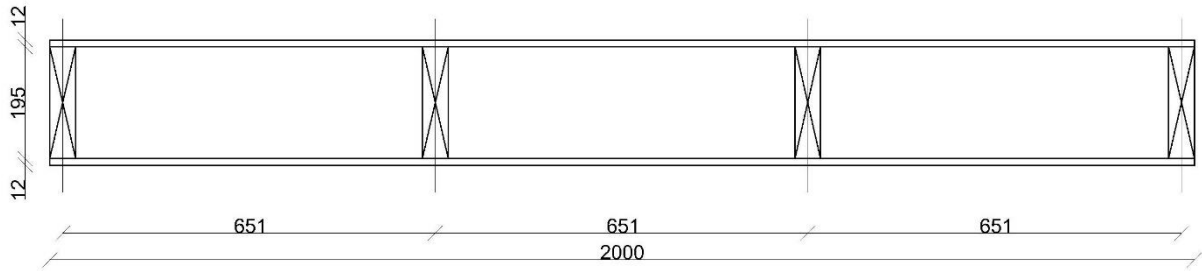
Vööde materjal on vineer $t = 12mm, F 50/25; F 70/25; \rho_k = 600 kg/m^3$

Seinte materjaliks on saematerjal $45 \times 195mm, C24, \rho_k = 350 kg/m^3$

Koormused:

$$\text{Omakaal: } g_k = 0,72 \frac{kN}{m^2}$$

$$\text{Tuulekoormus: } q_k = 0,21 \frac{kN}{m^2}$$



Joonis 3.6.1.1 Seinapaneel

3.6.2 Vineerplaadi kontroll

Plaadile mõjuv arvutuslik ühtlaselt jaotatud koormus: (3.6.2.1)

$$q_d = l \times (g_k + q_k) = (0,87 + 0,31) \times 0,651 = 0,76 \frac{kN}{m};$$

Ülemise vineerplaadi tugevus

Maksimaalsed arvutuslikud sisejõud (3.6.2.2)

$$M_d = \frac{q_d \times L^2}{4} = \frac{0,76 \times 6^2}{8} = 4,43 kNm$$

$$V_d = \frac{q_d \times L}{2} = \frac{0,76 \times 6}{2} = 2,28 kN$$

$$\sigma_{m,d} = \frac{M}{W} = \frac{4,43 \times 10^6 \times 0,651}{651 \times 12^2} = 30,8 MPa$$

$$f_{m,0,d} = \frac{k_{mod} \times f_{m,k}}{1,2} = \frac{0,9 \times 50}{1,2} = 34,6 MPa$$

$$\frac{\sigma_{m,d}}{f_{m,0,d}} = 0,89 \leq 1$$

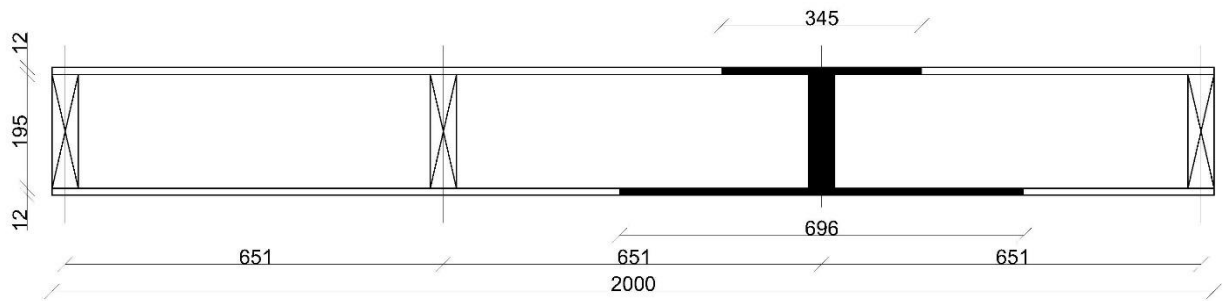
Nihke ja mõlkimistingimus

Alumine vöö, nihketingimus:

$$b_{t,eff} = 0,1 \times 6000 = 600 < 651 mm \quad b_{eff,t} = 651 + 45 = 696 mm$$

Ülemine vöö, mõlkumine:

$$b_{c,eff} = 25 \times h_f = 25 \times 12 = 300\text{mm} \quad b_{eff} = b_{t,eff} + b_w = 300 + 45 = 345\text{mm}$$



Joonis 3.6.2.1 Seinapaneel. Ülemine vöö, mõlkumine

Ristlõike efektiivne paindejäikus

Ülemine vöö (nr 1)

Ristlõike ülemise vöö pindala

$$A_1 = 345 \times 12 = 4140\text{mm}^2$$

Elastsusmoodul seintalana koormamisel välimiste spoonidega risti

$$E_{0,mean,1} = 3650 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Ülemise vöö inertsmoment

$$I_{y,1} = \frac{345 \times 12^3}{12} = 49680\text{mm}^4$$

Ülemise vöö kinnituselementide samm

$$S_1 = 60\text{mm}$$

Sein (nr 2)

Ristlõike seina pindala

$$A_2 = 45 \times 195 = 8775\text{mm}^2$$

Elastsusmoodul seintalana koormamisel välimiste spoonidega risti

$$E_{0,mean,2} = 11000 \frac{N}{mm^2}$$

Seina inertsmoment

$$I_{y,1} = \frac{45 \times 195^3}{12} = 27,8 \times 10^6 mm^4$$

Alumine vöö (nr 3)

Ristlõike alumise vöö pindala

$$A_3 = 696 \times 12 = 8352 mm^2$$

Elastsusmoodul seintalana koormamisel välimiste spoonidega risti

$$E_{0,mean,3} = 3650 \frac{N}{mm^2}$$

Alumise vöö inertsmoment

$$I_{y,1} = \frac{696 \times 12^3}{12} = 100224 mm^4$$

Alumise vöö kinnituselementide samm

$$S_1 = 60 mm$$

Vööde kinnituselementide järeldavus:

Nael $\emptyset 5 \times 50 mm$ ettepuurimiseta, süvistatud 38 mm

Nihkemoodul

(3.6.2.3)

$$k_{ser} = k_1 = k_3 = \rho_k^{1,5} \times \frac{d^{0,8}}{30} = 458^{1,5} \times \frac{5^{0,8}}{30} = 1184 \frac{N}{mm^2}$$

Ülemise vöö ja sein materjalide tiheduste ruutkeskmine

(3.6.2.4)

$$\rho_k = \sqrt{\rho_{k,1} \times \rho_{k,2}} = \sqrt{600 \times 350} = 458 \frac{kg}{m^3}$$

Lõplik nihkemoodul

Vastavalt KK 2 materjalide deformatsiooniteguri ruutkeskmine

$$k = 2 \times \sqrt{k_{,1} \times k_{,2}} = 2 \times \sqrt{1,0 \times 0,8} = 1,79 K_{ser,fin} = \frac{K_{ser}}{(1+k)} = \frac{1184}{1+1,79} = 424 \frac{N}{mm}$$

Nihkemoodul kandepiiriseisundis

$$K_u = \frac{2}{3} \times K_{ser,fin} = \frac{2}{3} \times 424 = 282,7 \frac{N}{mm}$$

Vööde koostöötegurid

$$\gamma_1 = 1 + \frac{\pi^2 \times E_1 \times A_1 \times s_1}{K_u \times L^2} = \left[1 + \frac{3,14^2 \times 3650 \times 4140 \times 60}{282,7 \times 6000^2} \right]^{-1} = 0,53$$

$$\gamma_2 = 1$$

$$\gamma_3 = 1 + \frac{\pi^2 \times E_3 \times A_3 \times s_1}{K_u \times L^2} = \left[1 + \frac{3,14^2 \times 3650 \times 8352 \times 60}{282,7 \times 6000^2} \right]^{-1} = 0,36$$

Ristlõike nulljoone arvutus

$$\begin{aligned} a_2 &= \frac{\gamma_1 E_1 A_1 (h_1 + h_2) - \gamma_3 E_3 A_3 (h_2 + h_3)}{2 \sum_{i=1}^3 \gamma_i E_i A_i} \\ &= \frac{0,53 \times 3650 \times 4140 \times (12 + 195) - 0,36 \times 3650 \times 8352 \times (195 + 12)}{2 \times (0,53 \times 3650 \times 4140 + 1 \times 11000 \times 8775 + 0,36 \times 3650 \times 8352)} \\ &= \frac{-613899486}{115508358} = -0,18mm \end{aligned}$$

Efektivne paindejäikus

$$a_1 = 0,5h_1 + 0,5h_2 + a_2 = 0,5 \times 12 + 0,5 \times 195 + 0,18 = 103,68mm$$

$$a_3 = 0,5h_1 + 0,5h_2 + a_2 = 0,5 \times 12 + 0,5 \times 195 - 0,18 = 103,32mm$$

Efektivne paindejäikus (mehaaniliste liidetega ristlõige): (3.6.2.5)

$$\begin{aligned} (EI)_{ef} &= \sum_{i=1}^3 (E_i \times I_i + \gamma_i \times E_i \times A_i \times a_i^2) \\ &= (3650 \times 49680 + 0,53 \times 3650 \times 4140 \times 103,68^2) \\ &\quad + (11000 \times 27,8 \times 10^6 + 1 \times 11000 \times 8775 \times 0,18^2) \\ &\quad + (3650 \times 100224 + 0,36 \times 3650 \times 8352 \times 103,32^2) \\ &= 8,6 \times 10^{10} + 3,1 \times 10^{11} + 1,2 \times 10^{11} = 5,13 \times 10^{11} \frac{N}{mm^2} \end{aligned}$$

Ülemise vöö normaalpingete leidmine

Ülemise vöö arvutuslik survepinge:

$$\sigma_{c,1,d} = \frac{\gamma_1 \times E_1 \times a_1 \times M_d}{(EI)_{ef}} = \frac{0,53 \times 3650 \times 103,68 \times 4,43 \times 10^6}{5,13 \times 10^{11}} = 1,73 \text{ N/mm}^2$$

Ülemise vöö arvutuslik paindepinge:

$$\sigma_{f,m,1,d} = \frac{0,5 \times E_1 \times h_1 \times M_d}{(EI)_{ef}} = \frac{0,5 \times 3650 \times 12 \times 4,43 \times 10^6}{5,13 \times 10^{11}} = 0,19 \text{ N/mm}^2$$

Vineeri arvutuslik survetugevus seintalana koormamisel välimiste spoonikiududega risti

$$f_{c,d} = \frac{k_{mod} \times f_{c,k}}{\gamma_m} = \frac{0,8 \times 17}{1,2} = 11,3 \text{ MPa}$$

Vineeri arvutuslik paindetugevus plaadina koormamisel välimiste spoonikiududega risti $f_{m,d} =$

$$\frac{k_{mod} \times f_{c,k}}{\gamma_m} = \frac{0,8 \times 25}{1,2} = 16,6 \text{ MPa}$$

Ülemise vöö tugevuskontroll:

$$\left(\frac{\sigma_{c,1,d}}{f_{c,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{f,m,1,d}}{f_{m,d}} = \left(\frac{1,73}{11,3} \right)^2 + \frac{0,19}{16,6} = 0,02 + 0,01 = 0,03 < 1$$

Seinte normaalpingete leidmine

Seinte arvutuslik survepinge:

$$\sigma_{c,1,d} = \frac{\gamma_2 \times E_2 \times a_2 \times M_d}{(EI)_{ef}} = \frac{1 \times 11000 \times 0,18 \times 4,43 \times 10^6}{5,13 \times 10^{11}} = 0,02 \text{ N/mm}^2$$

Seinte arvutuslik paindepinge:

$$\sigma_{f,m,1,d} = \frac{0,5 \times E_2 \times h_2 \times M_d}{(EI)_{ef}} = \frac{0,5 \times 11000 \times 195 \times 4,43 \times 10^6}{5,13 \times 10^{11}} = 9,26 \text{ N/mm}^2$$

Saepuidu arvutuslik survetugevus pikikiudu

$$f_{c,d} = \frac{k_{mod} \times f_{c,k}}{\gamma_m} = \frac{0,8 \times 21}{1,3} = 12,9 \text{ MPa}$$

Saepuidu arvutuslik paindetugevus

$$f_{m,d} = \frac{k_{mod} \times f_{c,k}}{\gamma_m} = \frac{0,8 \times 24}{1,3} = 14,8 \text{MPa}$$

Ülemise vöö tugevuskontroll:

$$\left(\frac{\sigma_{c,1,d}}{f_{c,d}}\right)^2 + \frac{\sigma_{f,m,1,d}}{f_{m,d}} = \left(\frac{0,02}{12,9}\right)^2 + \frac{9,26}{14,8} = 0,00002 + 0,62 = 0,63 < 1$$

Alumise vöö arvutuslik survepinge:

Alumise vöö normaalpingete leidmine

$$\sigma_{c,1,d} = \frac{\gamma_3 \times E_3 \times a_3 \times M_d}{(EI)_{ef}} = \frac{0,36 \times 3650 \times 103,32 \times 4,43 \times 10^6}{5,13 \times 10^{11}} = 1,17 \text{N/mm}^2$$

Alumise vöö arvutuslik paindepinge:

$$\sigma_{f,m,1,d} = \frac{0,5 \times E_3 \times h_3 \times M_d}{(EI)_{ef}} = \frac{0,5 \times 3650 \times 12 \times 4,43 \times 10^6}{5,13 \times 10^{11}} = 0,19 \text{N/mm}^2$$

Vineeri arvutuslik survetugevus seintalana koormamisel välimiste spoonikiududega risti

$$f_{c,d} = \frac{k_{mod} \times f_{c,k}}{\gamma_m} = \frac{0,8 \times 17}{1,2} = 11,3 \text{MPa}$$

Vineeri arvutuslik paindetugevus plaadina koormamisel välimiste spoonikiududega risti $f_{m,d} =$

$$\frac{k_{mod} \times f_{c,k}}{\gamma_m} = \frac{0,8 \times 25}{1,2} = 16,6 \text{MPa}$$

Alumise vöö tugevuskontroll:

$$\left(\frac{\sigma_{c,1,d}}{f_{c,d}}\right)^2 + \frac{\sigma_{f,m,1,d}}{f_{m,d}} = \left(\frac{1,17}{11,3}\right)^2 + \frac{0,19}{16,6} = 0,01 + 0,01 = 0,02 < 1$$

Nihkepinged seinas

$$\begin{aligned} \tau_{2,max,d} &= \frac{V_d \times (\gamma_3 \times E_3 \times A_3 \times a_3 + 0,5 \times E_2 \times b_2 \times h_2^2)}{(EI)_{ef} \times b_2} \\ &= \frac{2,28 \times 10^3 \times 0,36 \times 3650 \times 8352 \times 103,32 + 0,5 \times 45 \times 11000 \times 195^2}{5,13 \times 10^{11} \times 45} = 0,11 \\ &< 1,54 \text{MPa} \end{aligned}$$

Saepuidu arvutuslik nihketugevus

$$f_{v,d} = \frac{k_{mod} \times f_{v,k}}{\gamma_m} = \frac{0,8 \times 2,5}{1,3} = 1,54 \text{MPa}$$

Naelliite arvutus

$$F_1 = \frac{V_d \times (\gamma_1 \times E_1 \times A_1 \times a_1) \times s_1}{(EI)_{ef}} = \frac{2,28 \times 10^3 \times 0,52 \times 3650 \times 4140 \times 103,68 \times 60}{5,13 \times 10^{11}} = 217 \text{N/nael}$$

$$F_3 = \frac{V_d \times (\gamma_3 \times E_3 \times A_3 \times a_3) \times s_1}{(EI)_{ef}} = \frac{2,28 \times 10^3 \times 0,36 \times 3650 \times 8352 \times 103,68 \times 60}{5,13 \times 10^{11}} = 303 \text{N/nael}$$

3.6.3 Liite kandevõime

Naelad $\emptyset 5 \times 50$, s. 100 ilma aukude ettepuurimiseta:

[5]

$$t_1 = 12t_2 = 38$$

Vineeri muljumistugevus

$$f_{h,1,k} = 0,11 \times \rho_k \times d^{-0,3} = 0,11 \times 600 \times 5^{-0,3} = 40,7 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Puidu muljumistugevus

$$f_{h,2,k} = 0,082 \times \rho_k \times d^{-0,3} = 0,082 \times 350 \times 5^{-0,3} = 17,7 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Naela voolupiirile vastava paindemomendi normväärtus

$$M_{y,k} = 0,3 \times d^{2,6} \times f_u = 0,3 \times 5^{2,6} \times 600 = 11819 \text{Nmm}$$

Elementide muljumistugevuste suhe

(3.6.3.1)

$$\beta = \frac{f_{h,2,k}}{f_{h,1,k}} = \frac{17,7}{40,7} = 0,43$$

Naelte ühe nihkepinna kandevõime ühelõikelise liite korral

$$F_{v,Rk} = f_{h,1,k} \times t_1 \times d = 40,7 \times 12 \times 5 = 2442 \text{N}$$

$$F_1 = 217 \text{N} < 2442 \text{N} \quad F_3 = 303 \text{N} < 2442 \text{N}$$

Paneeli läbipainde leidmine lõppolukorras

$$E_{c,t,90,d} = \frac{3650}{1 + 0,8} = 2027 \frac{N}{mm^2} E_{c,t,90,d} = \frac{11000}{1} = 11000 \frac{N}{mm^2}$$

(3.6.3.2)

$$\begin{aligned} (EI)_{ef,fin} &= \sum_{i=1}^3 (E_i \times I_i + \gamma_i \times E_i \times A_i \times a_i^2) \\ &= \left(\frac{2027 \times 49680}{12} + 0,53 \times 3650 \times 4140 \times 103,68^2 \right) \\ &\quad + \left(\frac{11000 \times 27,8 \times 10^6}{12} + 1 \times 11000 \times 8775 \times 0,18^2 \right) \\ &\quad + \left(\frac{2027 \times 1000224}{12} + 0,36 \times 3650 \times 8352 \times 103,32^2 \right) = 2,12 \times 10^{12} \end{aligned}$$

$$w_{inst,G} = \frac{5 \times g_k \times L^4}{384(EI)_{ef}} = \frac{5 \times 0,72 \times 6000^4}{384 \times 2,12 \times 10^{11}} = 5,73mm$$

$$w_{inst,Q} = \frac{5 \times q_k \times L^4}{384(EI)_{ef}} = \frac{5 \times 0,21 \times 6000^4}{384 \times 2,12 \times 10^{12}} = 1,67mm$$

Lõplik läbipaine

$$\begin{aligned} k &= \sqrt[2]{k_{,1} \times k_{,2}} = \sqrt[2]{0 + 0,8} = 0 \\ W_{fin,G} &= W_{inst,G}(1 + k) = 5,73(1 + 0) = 5,73mm \\ W_{fin,Q} &= W_{inst,Q}(1 + \psi_{2,1} \times k) = 1,67(1 + 0 \times 1,38) = 1,67mm \end{aligned}$$

Lubatud läbivajumi suurus

$$\frac{6000}{200} = 30mm$$

$$W_{net,fin} = W_{fin,G} + \psi_1 \times W_{fin,Q} = 5,73 + 0,2 \times 1,67 = 6,1mm$$

6,1 mm < 30 mm, seega läbipaine jääb lubatud piiridesse.

4. KOKKUVÕTTE

Käesolevas lõputöös püstutas autor kaks eesmärki:

1. Projekteerida laahoone puitelementidest
2. Arvutada konstruktsioonide tugevuse

Lõputöö esimeses osas konstrueeris autor puitkonstruktsioonides laahoone, mille laius on 23.5 meetrit, pikkus on 36,0 meetrit ja kõrgus on 9.025 m.

Autor kirjeldas mullatööde kande- ja piirdekonstruktsioonide montaaži tehnoloogia,

Lõputöö teises osas Autor määras hoonele mõjuvad koormuste suurused, arvutas sõlmede väljalõikamise meetodi kasutades katuseroovi, liidete, peakandja, konstruktsiooni elementide sõlmede, seinapaneeli tugevusarvutused. Teostatud on konstruktsioonide tugevuse kontroll.

Puitfermi arvutuseks ja kasutas autor AutoCad programmi.

Grafilisse ossa on lisatud asendiplaan, fassaadide joonised, lõigete ja sõlmede joonised.,

Kajastatud on ohutustehnika ja keskkonnakaitse.

Seega võib väita, et lõputöö eesmärgid on saavutatud ning ülesanded on täidetud.

5. ABSTRACT

In this thesis, the author set two goals:

1. Design a log building with wooden elements
2. Calculate the strength of the structures

In the first part of the thesis, the author constructed a wooden structure with a warehouse with a width of 23.5 meters, a length of 36.0 meters and a height of 9.025 m.

The author described the technology for mounting earthwork bearing and railing structures,

In the second part of the thesis, the author determined the load values for the building, calculated the strength calculations for the roof pitch, joints, main carrier, structural element nodes, wall panel using the knot cut-out method. The strength of the structures has been checked.

For the calculation of the wood truss and the author used AutoCad program.

The graphic part includes a layout plan, drawings of the facades, drawings of the sections and assemblies.,

Safety and environmental protection are covered.

Thus, it can be stated that the goals of the graduation thesis have been achieved and the tasks have been fulfilled.

6. KASUTATUD KIRJANDUS

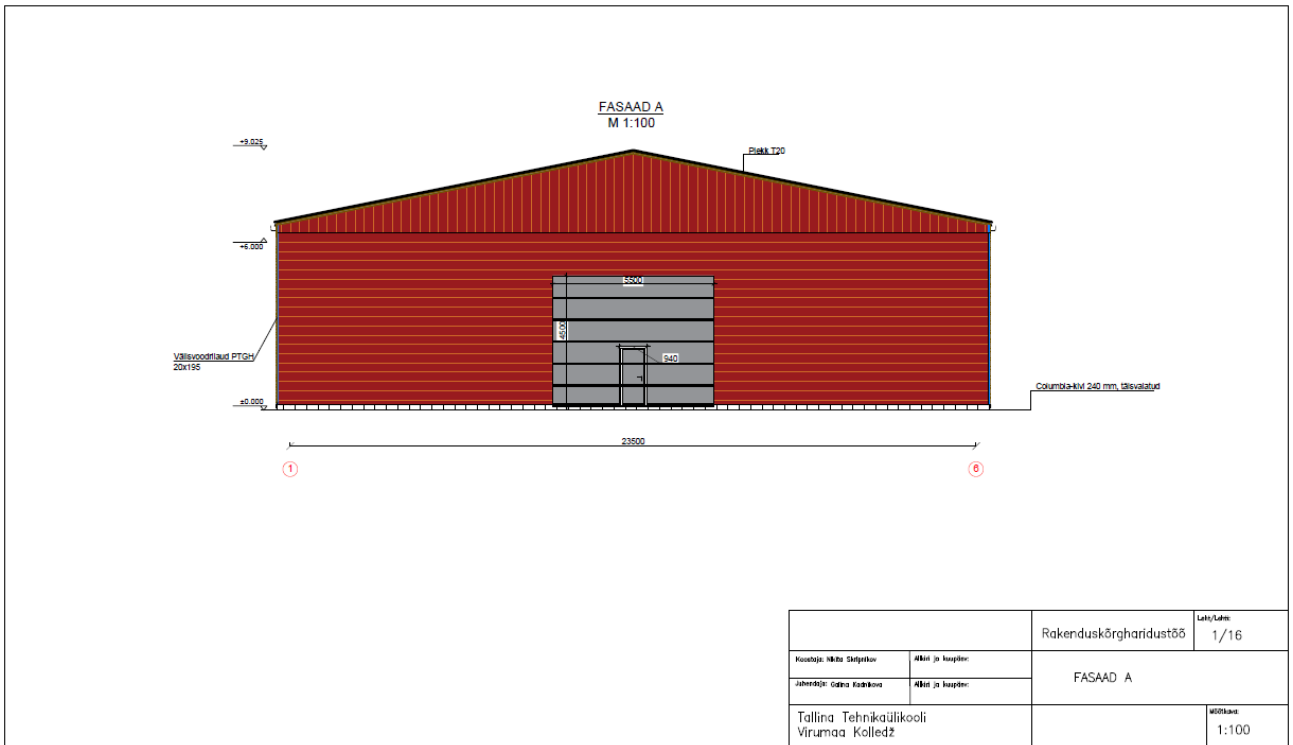
6.1 Õpikud ja abimaterjal:

Normid ja Standardid:

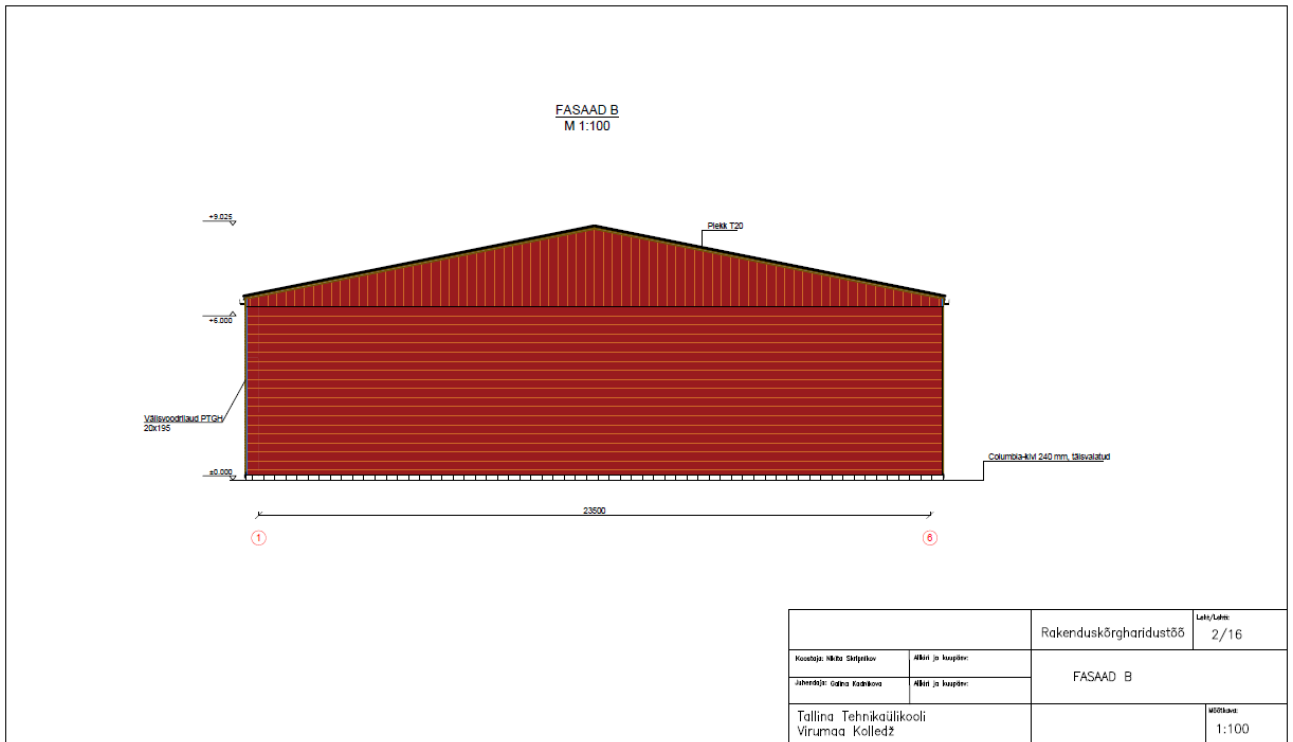
1. Maa-amet. Geoportaalid, kaardid. <https://xgis.maaamet.ee/xgis2/page/app/maainfo> (08.01.2020)
2. EVS-812-4:2011 Ehitiste tuleohutus: Osa 4. Tööstus- ja laohoonete ning garažiide tuleohutus
3. ET-2 0102-0329 Eesti kliima teatmik ehitajatele
4. Eurokoodeks 1: Ehituskonstruksioonide koormused. Osa 1-4: Tuulekoormus
5. Eurokoodeks 1: Ehituskonstruksioonide koormused. Osa 1-3: Üldkoormused. Lumekoormus.
6. Eurokoodeks 5: Puitkonstruktsioonide projekteerimine. Osa 1-1: Üldist. Üldreeglid ja reeglid hoonete projekteerimiseks
7. ET-2 0113-0346 Puitkonstruktsioonide arvutusnäided

7. GRAAFILINE OSA

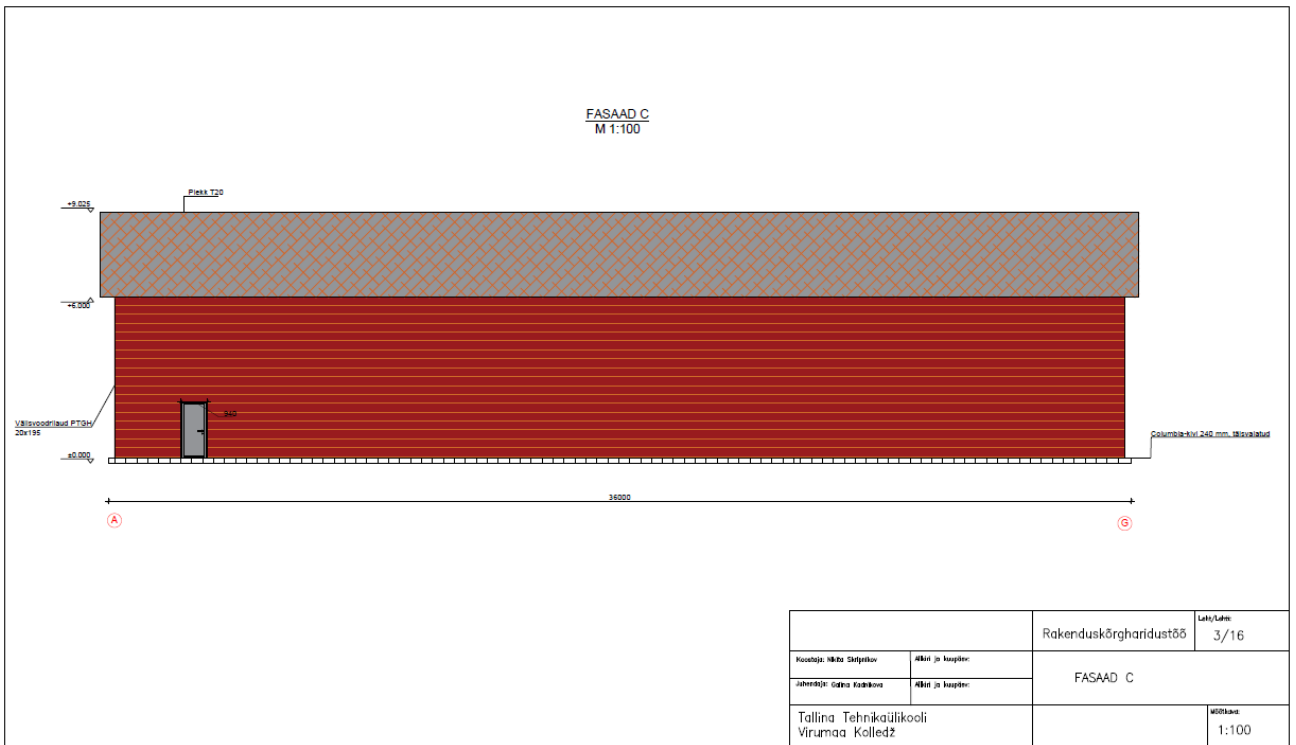
Joonise nimetus	Formaat	Mõõt
Fasaad A	A4	1:100
Fasaad B	A4	1:100
Fasaad C	A4	1:100
Lõige A-A	A4	1:100
Lõige B-B	A4	1:100
Lõige D-D	A4	1:100
Lõige C-C	A4	1:100
Ferm F-1	A4	1:50
Sõlm A	A4	1:10
Sõlm D	A4	1:10
Sõlm I	A4	1:10
Sõlm F	A4	1:10
Lõige J-J	A4	1:10
Seinapaneel	A4	1:10
Sõlm B	A4	1:10
Sõlm C/Lõige E-E	A4	1:10



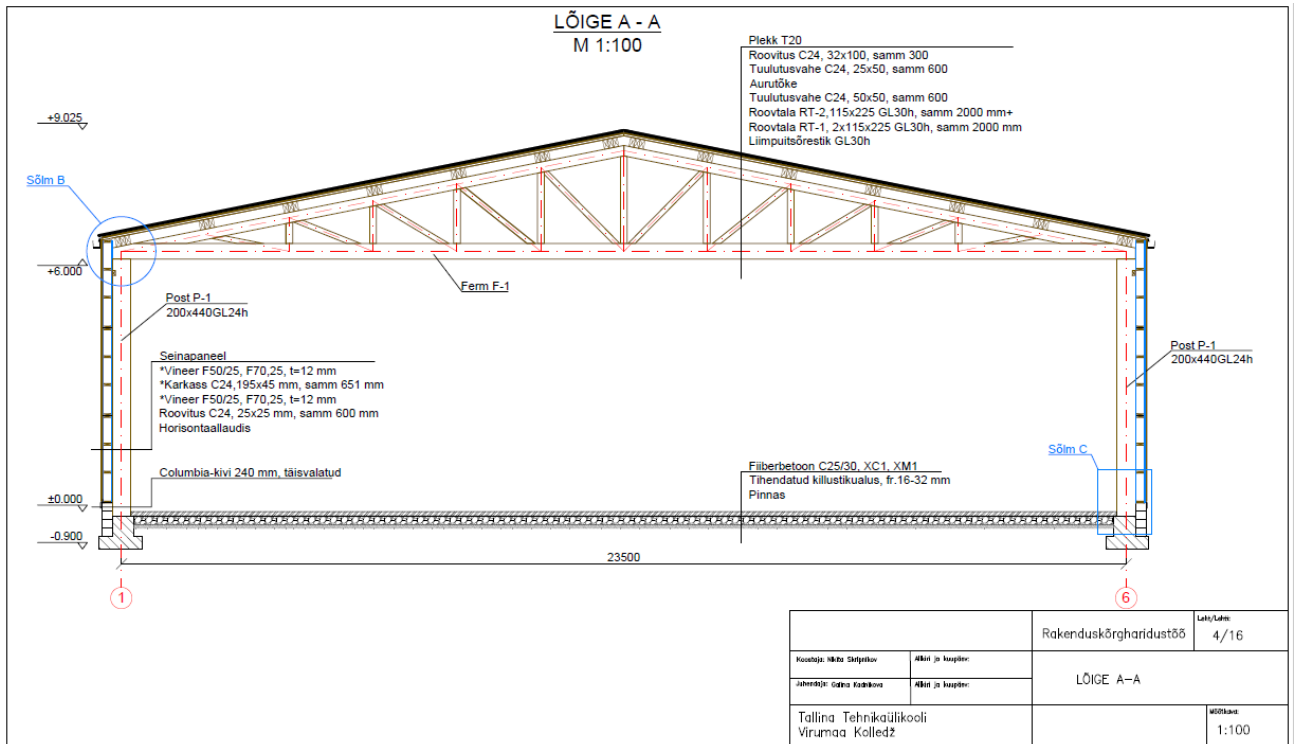
Joonis 7.1 Fasaad A



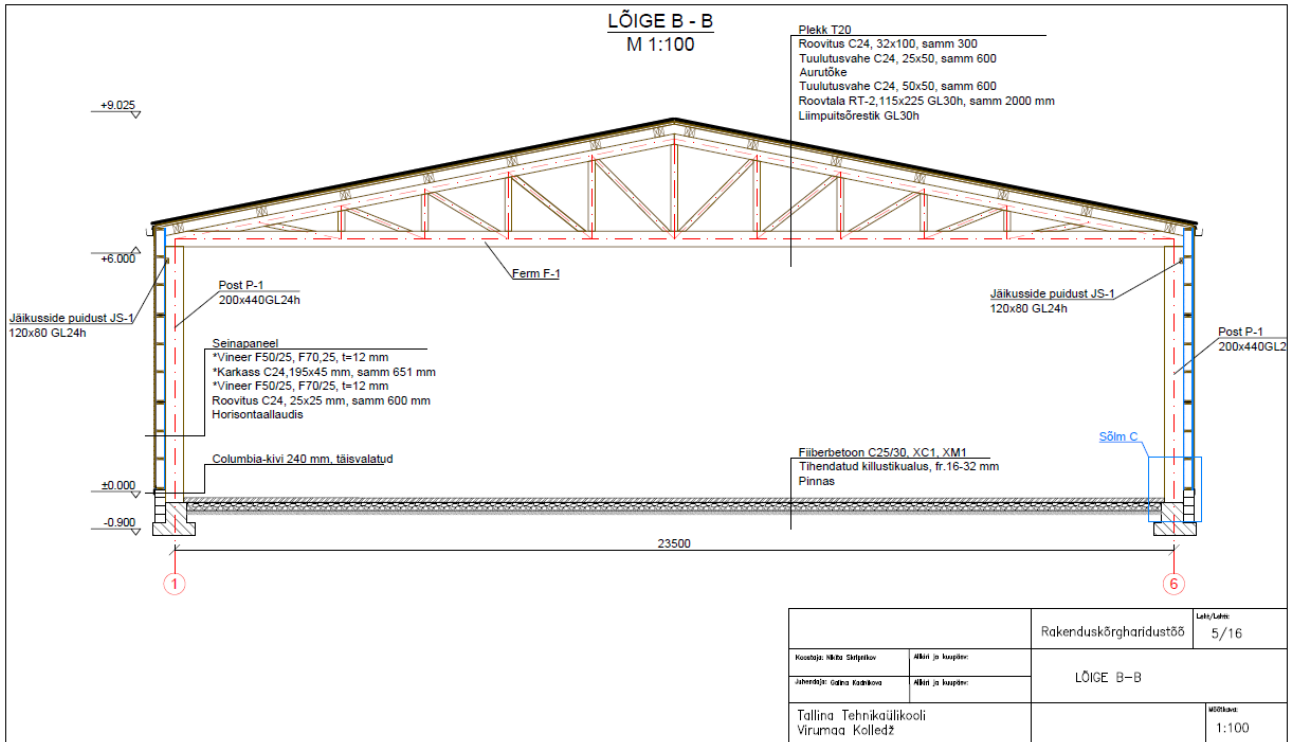
Joonis 7.2 Fasaad B



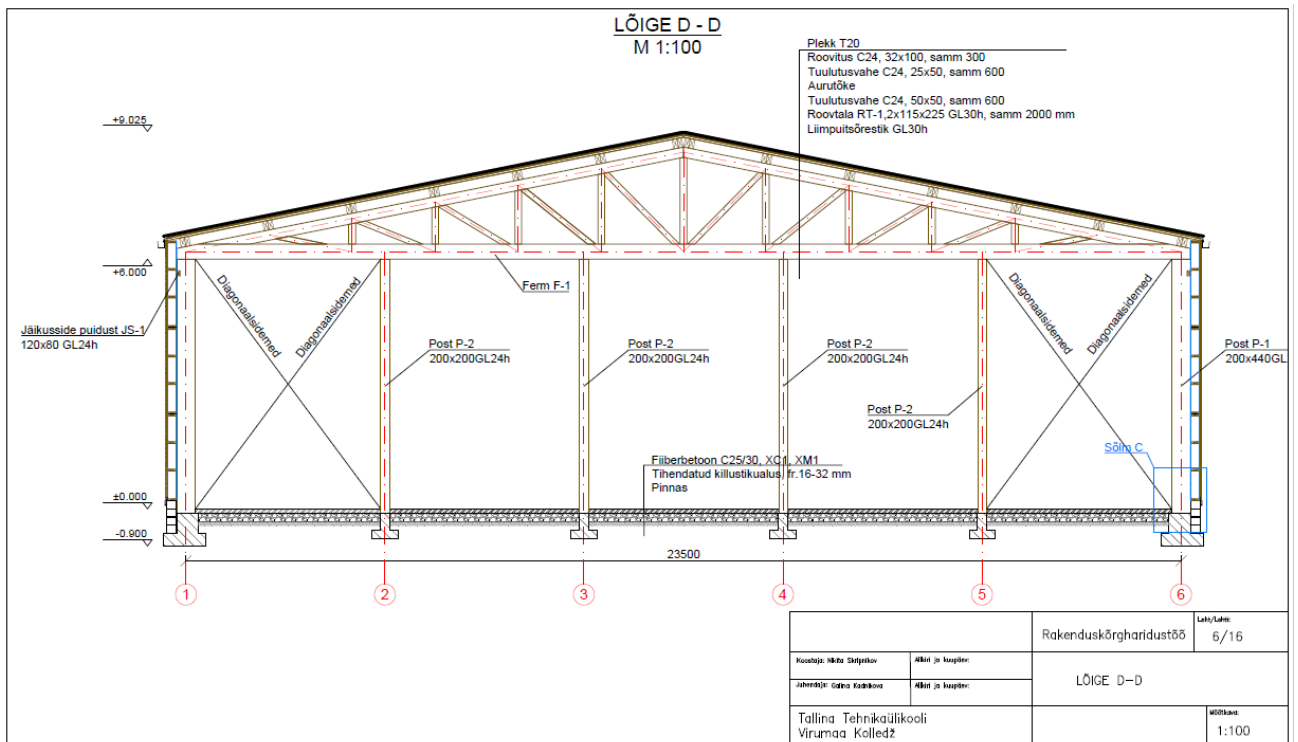
Joonis 7.3 Fasaad C



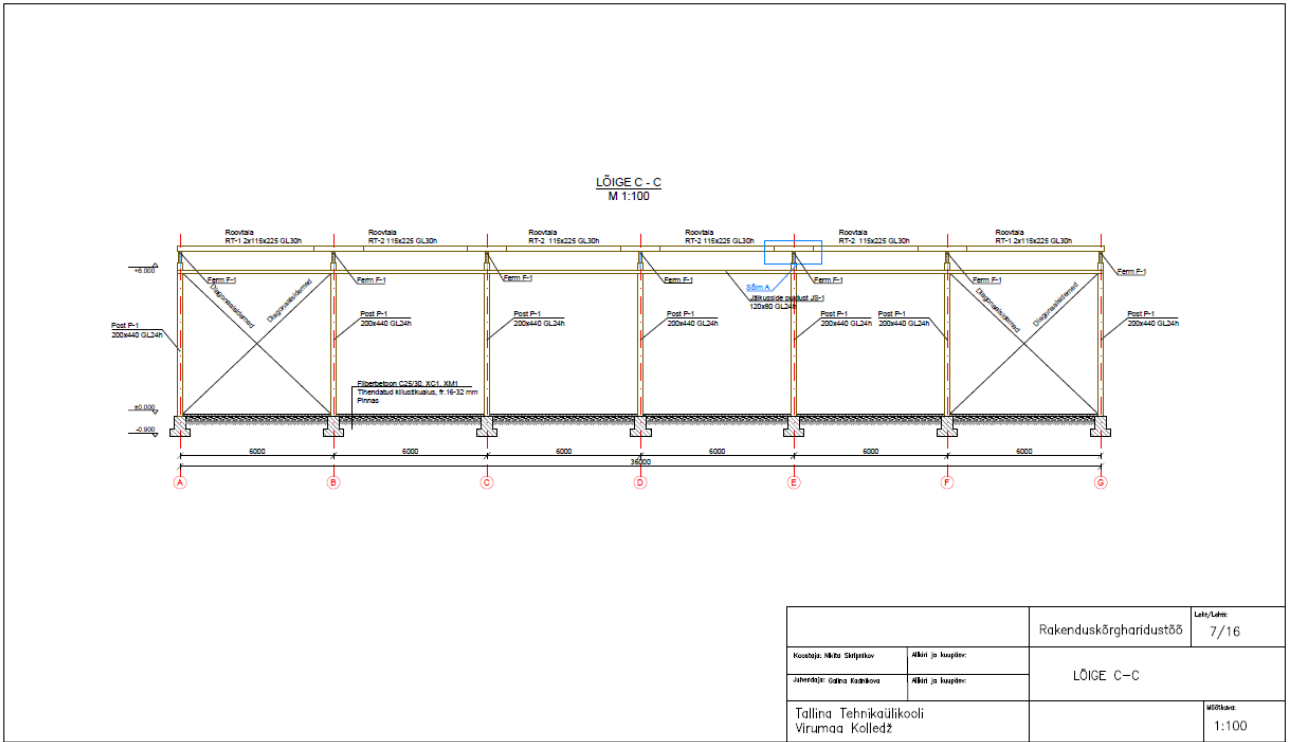
Joonis 7.4 Lõige A-A



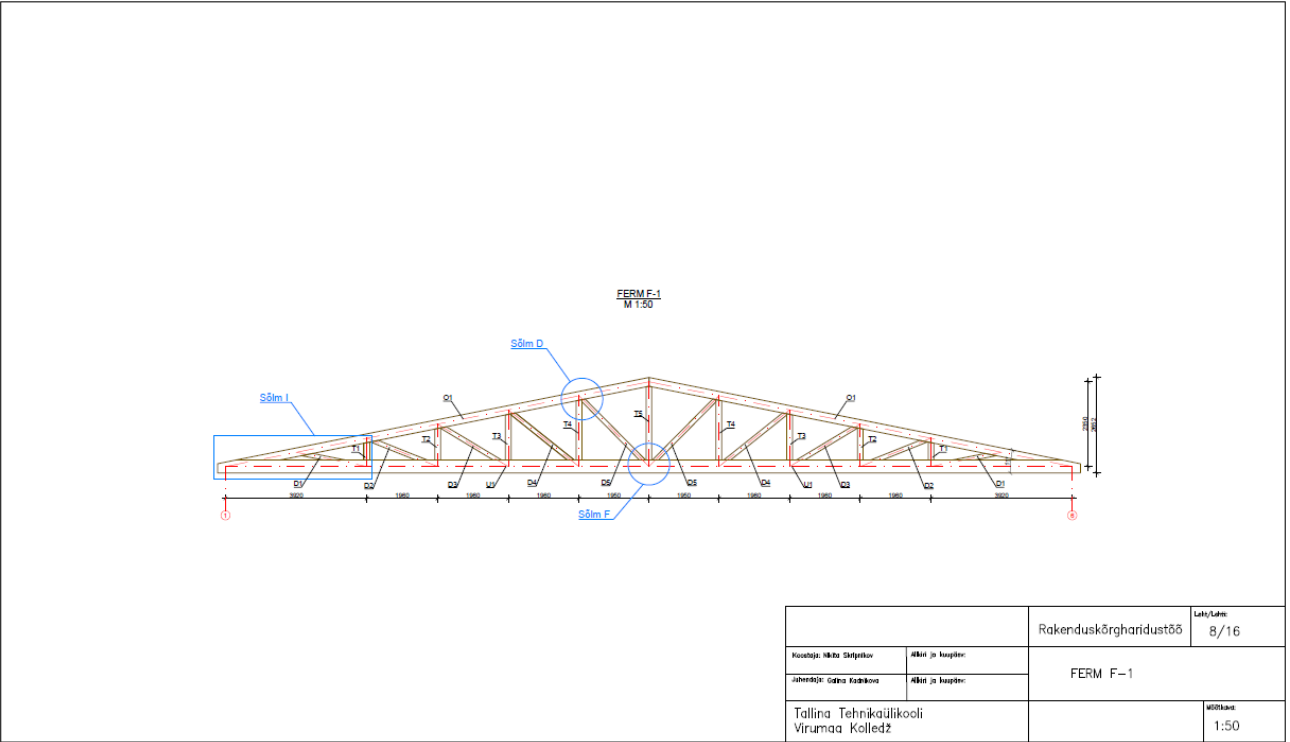
Joonis 7.5 Lõige B-B



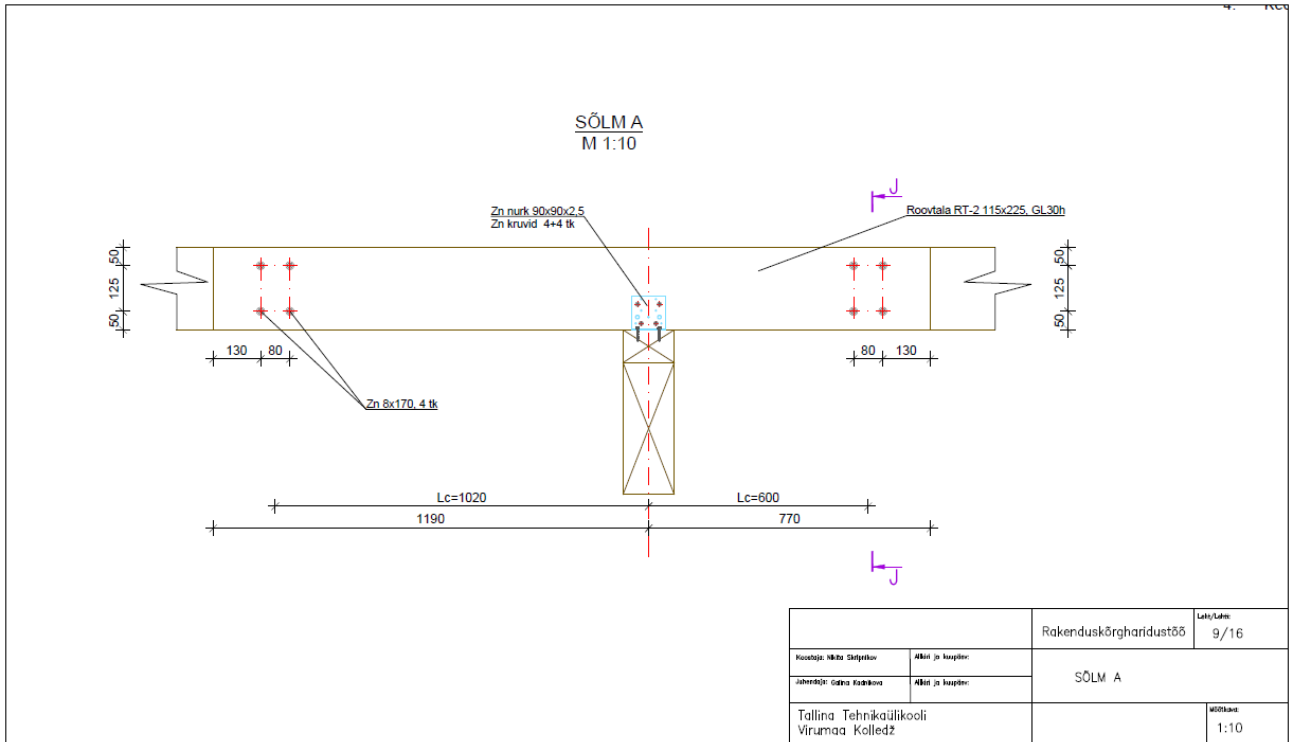
Joonis 7.6 Lõige D-D



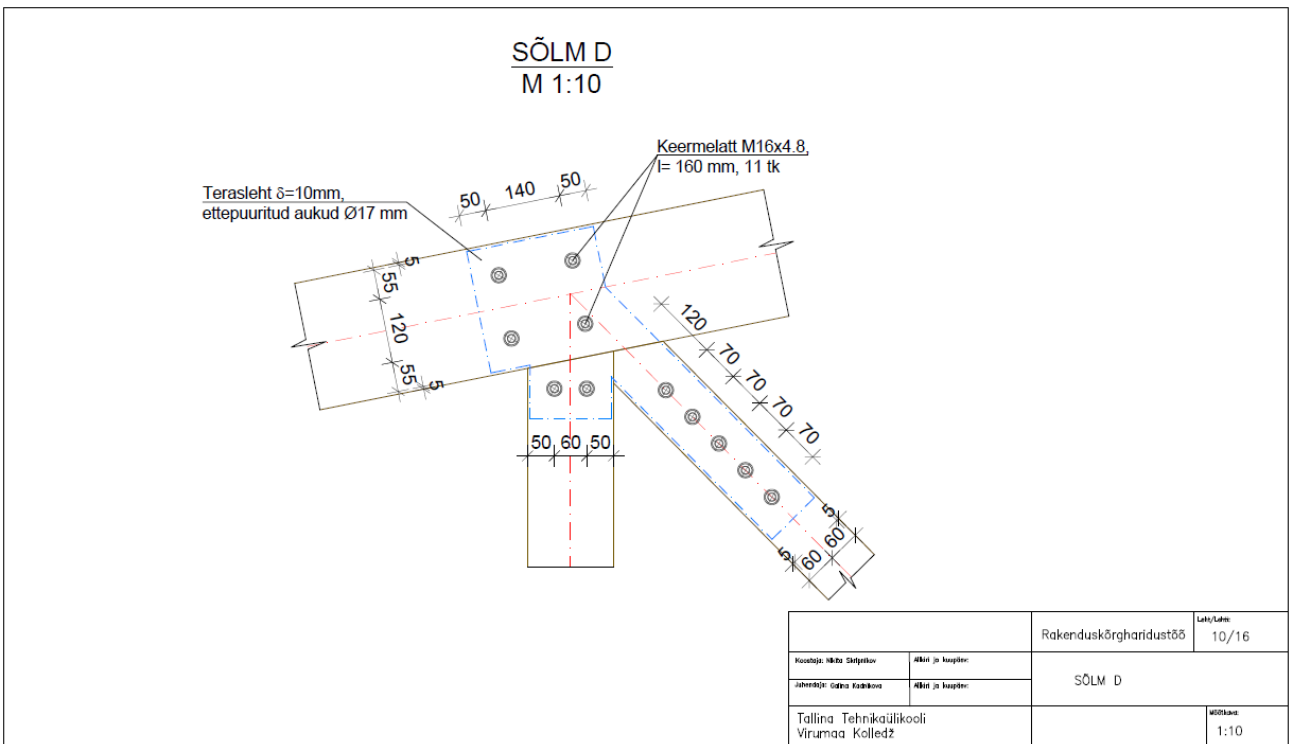
Joonis 7.7 Lõige C-C



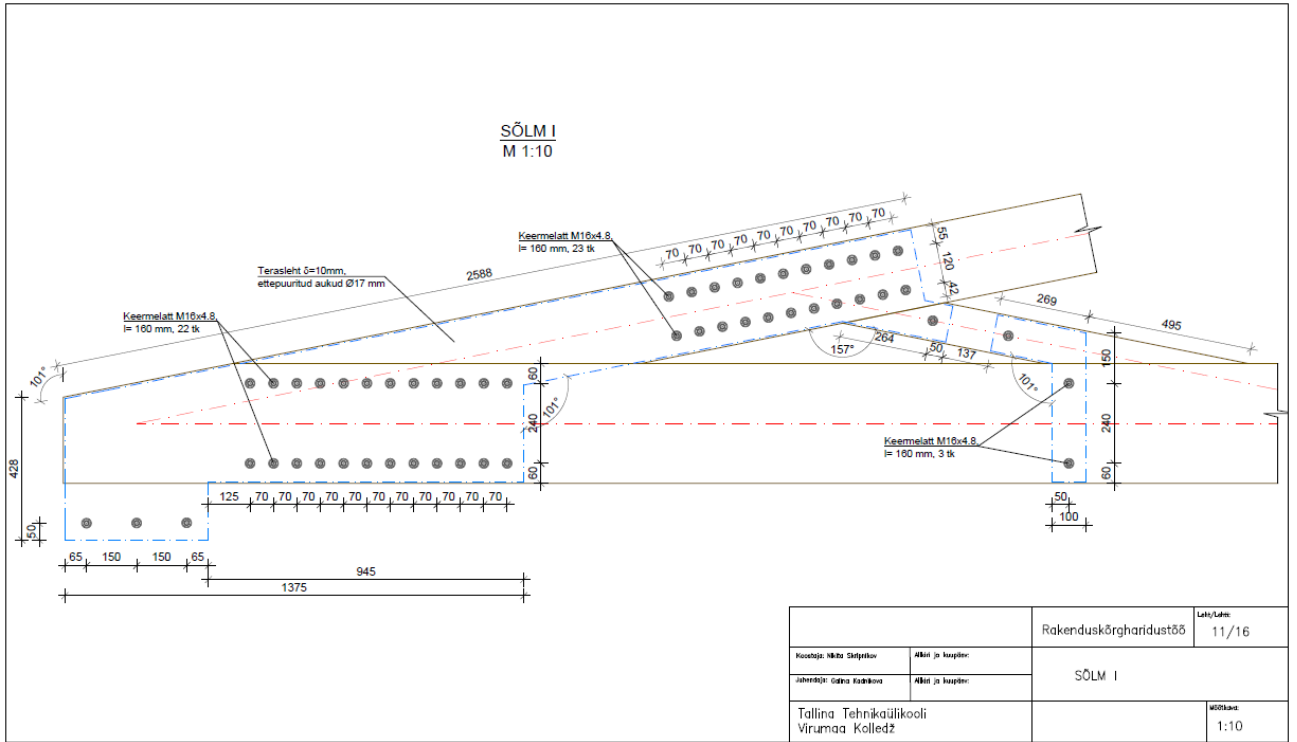
Joonis 7.8 Ferm F-1



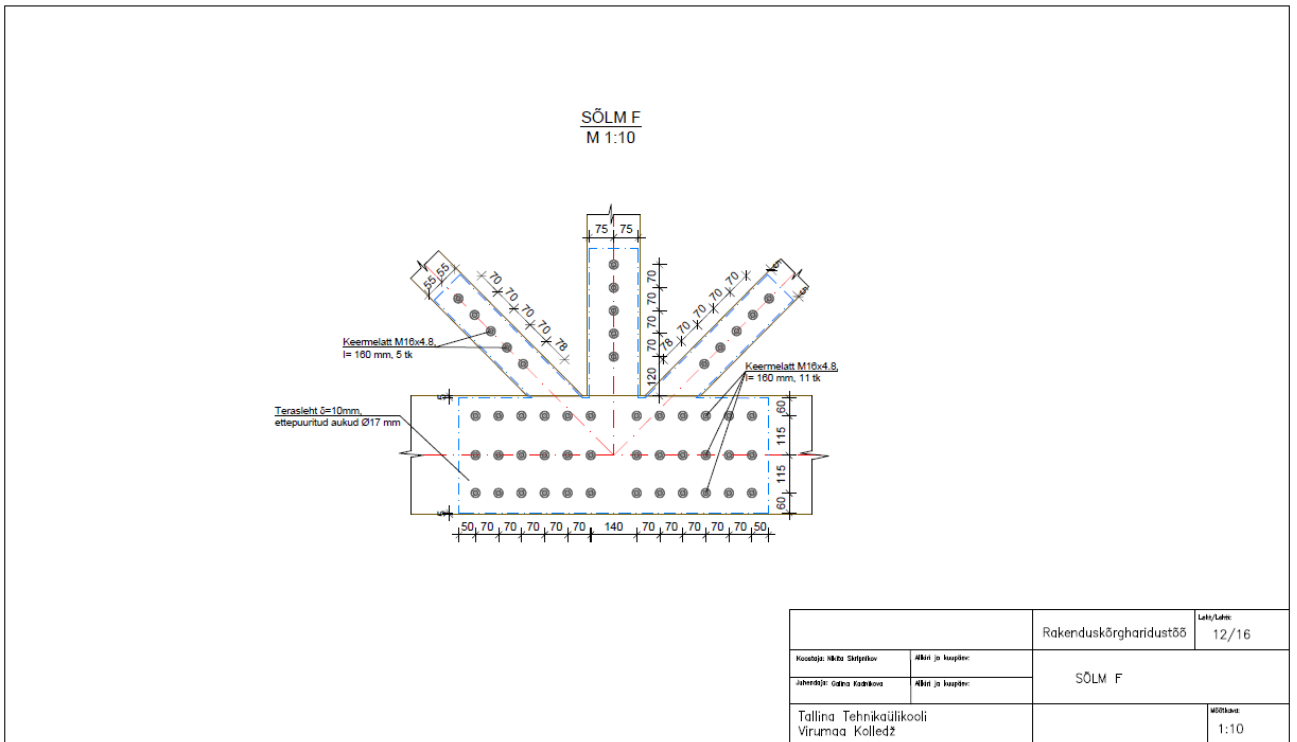
Joonis 7.9 Sõlm A



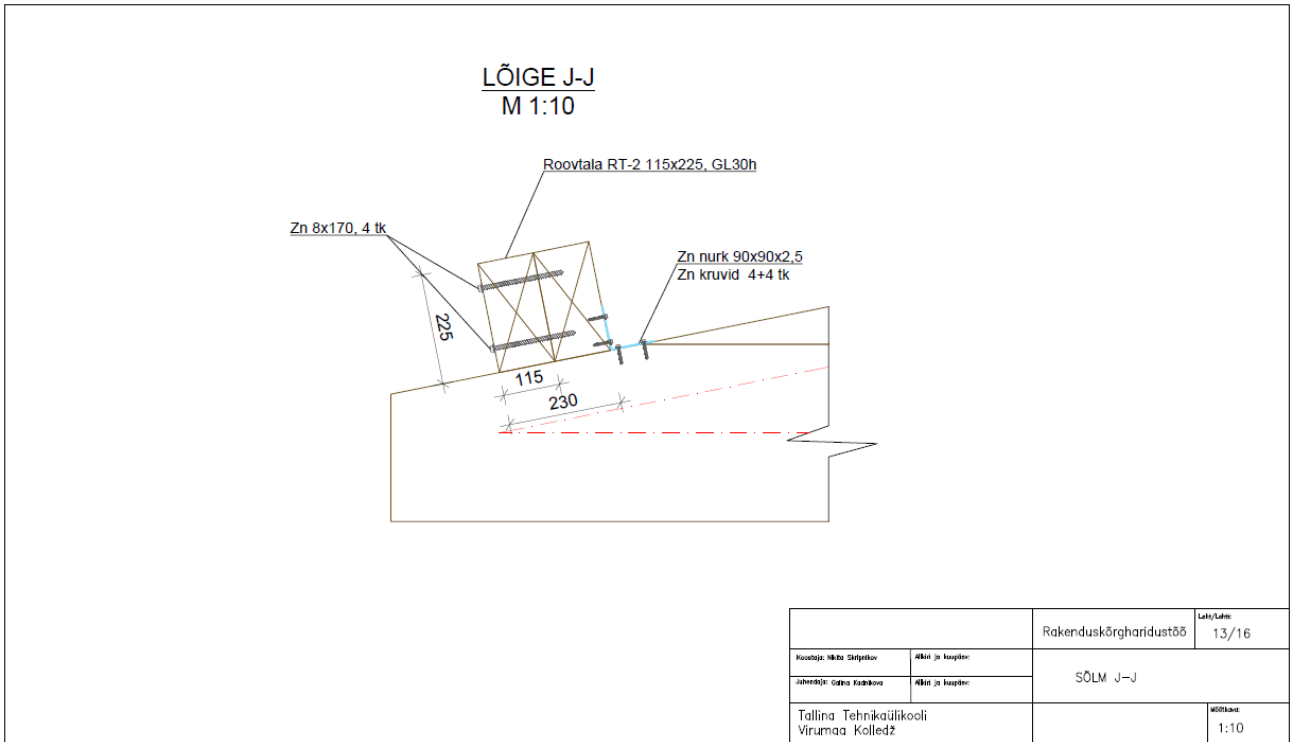
Joonis 7.10 Sõlm D



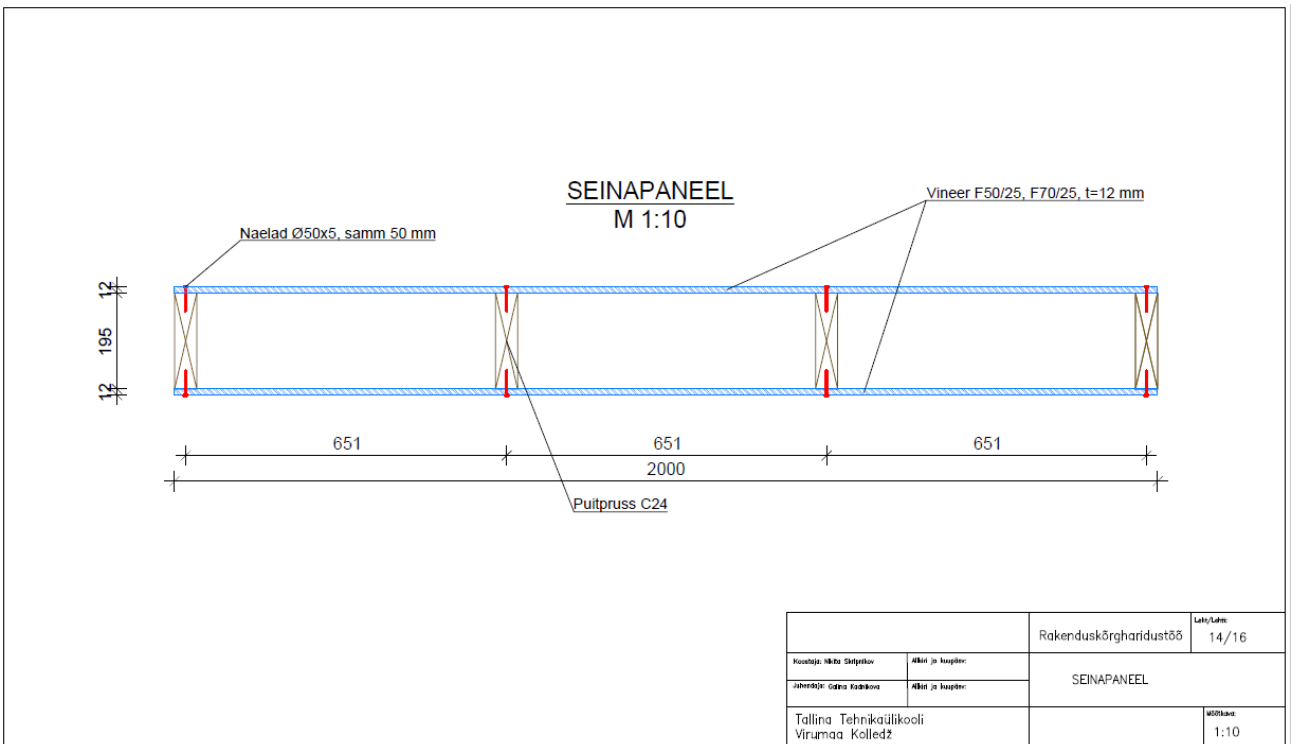
Joonis 7.11 Sölm I



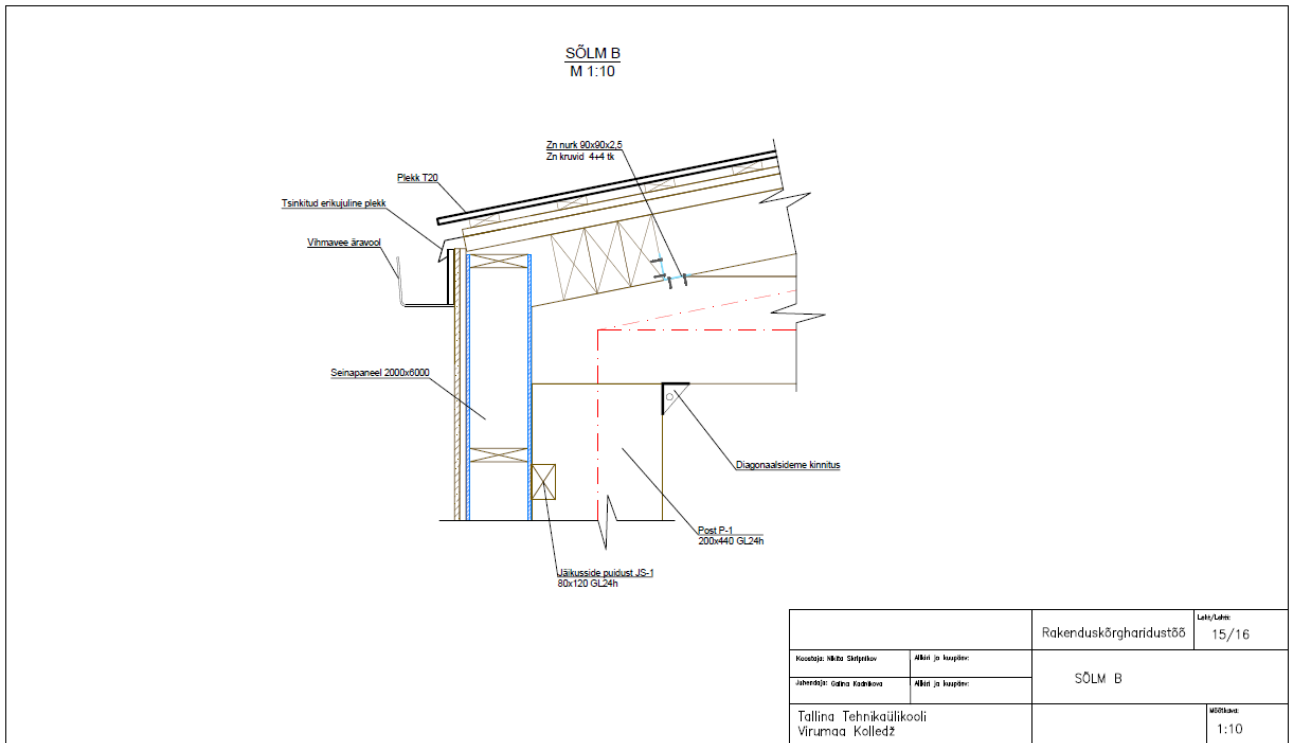
Joonis 7.12 Sölm F



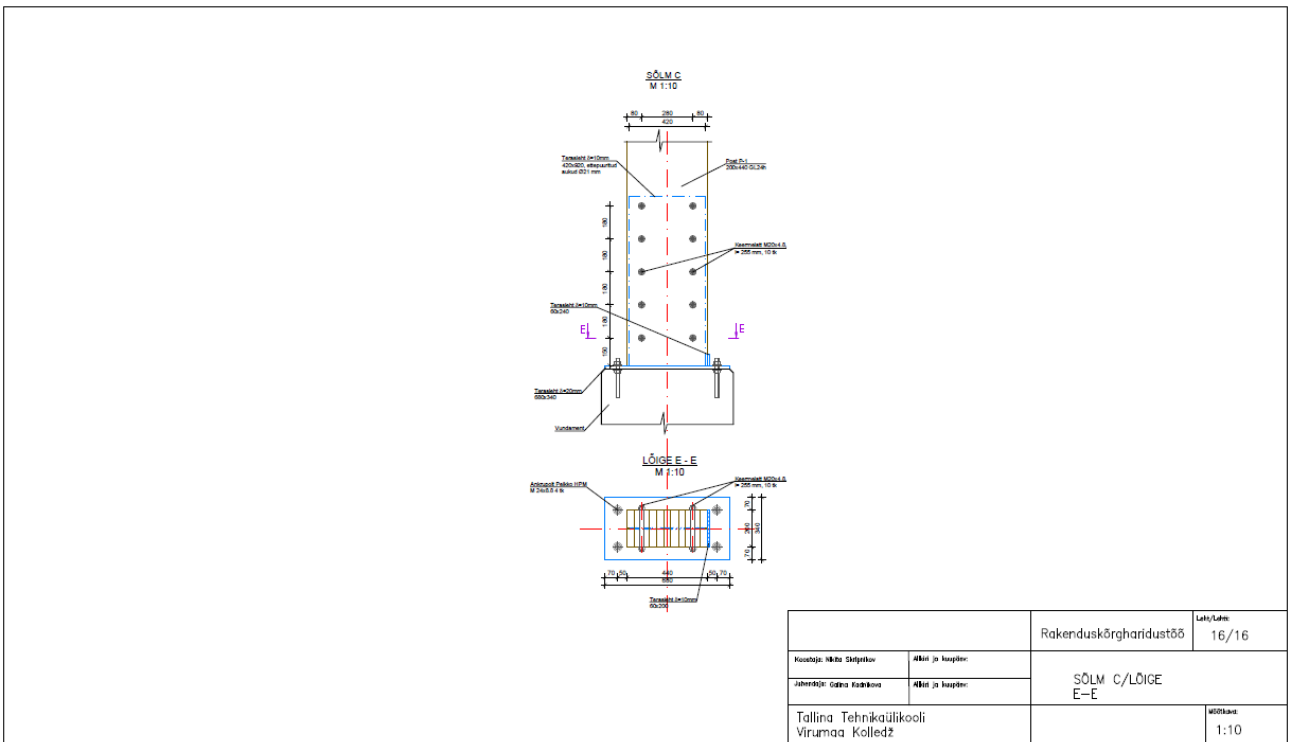
Joonis 7.13 Lõige J-J



Joonis 7.14 Seinapaneel



Joonis 7.15 Sölm B



Joonis 7.16 Sölm C/Lõige E-E