



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**KORPORATSIOONI FRATERNITAS LIVIENSIS
TARTU KONVENDIHOONE TORNİ ÜMBEREHITUS
– LAIENDATUD ARHITEKTUURNE EELPROJEKT**

Magistritöö

Juhendajad: Jaak Ilves
Mikk Pärdi
Aime Ruus

Üliõpilane: Kerly Kodasma
122472EAEI

Üliõpilase meiliaadress: kodasmakerly@gmail.com

Õppekava nimetus: Tööstus- ja tsiviilehitus,
ehitiste restaureerimine

TARTU 2017

Olen koostanud lõputöö iseseisvalt.
Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite
tööd, olulised seisukohad, kirjandusallikatest ja mujalt
pärinevad andmed on viidatud.

..... (töö autori allkiri ja kuupäev)

Üliõpilase kood: 122472EAEI

Töö vastab magistritööle esitatud nõuetele.

..... (juhendaja allkiri ja kuupäev)

Kaitsmisele lubatud: (kuupäev)

Kaitsmiskomisjoni esimees: (allkiri)

ABSTRACT

Kodasma, K. The Reconstruction of the Convent House Tower of Academic Fraternal Organization “Fraternitas Liviensis” – Extended Preliminary Architectural Design. Master’s thesis. In one volume. Tartu 2017. 91 pages, 8 illustrations, 3 tables, 12 photos, 12 drawings. This master’s thesis is in Estonian.

The purpose of this master’s thesis is to construct the preliminary architectural design of the reconstruction of the convent house tower. Also, the strength calculations of the steel construction were made. The preliminary architectural design meets the requirements that are valid in Estonia.

The convent house that was built in the late 19th century, is situated in Tartu, Jakobi 52. The building is under state protection as an architectural site. Therefore, it is necessary to describe conditions of the heritage protection.

The tower is given a new architectural design based on the historical appearance. Existing timber structures are damaged by the water running through the roof. New bearing structures of steel are designed to support the glass façade and the platform on the top of the roof. The little towers in the corners will be reconstructed as well.

Architectural drawings are created using ArchiCAD 18 and AutoCAD 2015. Calculation model for defining internal forces in steel structures, was created in AxisVM 12.

As a result of the master’s thesis the steel cross-sections were dimensioned. The strength calculations proved that chosen cross-sections were suitable. This work has a practical value and will be used to reconstruct the tower of the convent house.

Keywords: preliminary design, architecture, strength calculations, steel bearing structure, heritage protection, reconstruction

SISUKORD

ABSTRACT	2
SISUKORD	3
TÄHISED JA LÜHENDID	7
SISSEJUHATUS	11
1. EELPROJEKTI SELETUSKIRI	12
1.1. Üldosa	12
1.1.1. Objekt ja selle asukoht.....	12
1.1.2. Alusdokumendid.....	12
1.1.3. Lähteülesanne	12
1.2. Asendiplaaniline lahendus	13
1.2.1. Paiknemine	13
1.2.2. Vertikaalplaneering	13
1.2.3. Liikluskorraldus.....	13
1.2.4. Haljastus	13
1.2.5. Keskkonnakaitse.....	13
1.3. Arhitektuurne lahendus.....	14
1.3.1. Olemasolev olukord.....	14
1.3.2. Arhitektuurne üldkontseptsioon	14
1.3.3. Hoone tehnilised näitajad	14
1.3.4. Välisviimistlus.....	15
1.4. Üldine konstruktiivne lahendus	15
1.4.1. Hoone põhimaht	15
1.4.2. Tornide kandekonstruktsioonid.....	15
1.4.3. Tornide katus.....	15
1.4.4. Lipumast	16

1.4.5.	Trepp.....	16
1.4.6.	Piirded.....	16
1.4.7.	Ehistornikesed	16
1.5.	Küte ja ventilatsioon	16
1.6.	Veevarustus ja kanalisatsioon.....	16
1.7.	Elektripaigaldis	17
1.8.	Tuleohutus	17
1.8.1.	Alusdokumendid.....	17
1.8.2.	Tulepüsivus.....	17
1.8.3.	Tuletõkkeseksioonid.....	17
1.8.4.	Tuletundlikkus.....	17
1.8.5.	Piksekaitse	17
1.8.6.	Tuleohutuspaigaldised.....	18
1.8.7.	Tehnosüsteemide tuleohutus	18
1.9.	Muinsuskaitse	18
1.9.1.	Asukoht.....	18
1.9.2.	Ajalugu	18
1.9.3.	Hoone kirjeldus	20
1.9.4.	Praegune olukord.....	21
1.9.5.	Kultuuriväärtuslikud hooneosad.....	21
1.9.6.	Eritingimused	21
2.	TUGEVUSARVUTUSED	23
2.1.	Üldosa	23
2.2.	Kasutatud normdokumendid, arvutiprogrammid ja abimaterjalid.....	23
2.3.	Koormused.....	24
2.3.1.	Üldosa.....	24
2.3.2.	Omakaal.....	24

2.3.3.	Kasuskoormus	25
2.3.4.	Üldhälbed	25
2.3.5.	Lumekoormus	26
2.3.6.	Tuulekoormus	32
2.4.	Koormuskombinatsioonid	42
2.5.	Deformeerunud kuju mõju konstruktsioonile	43
2.6.	Ristlõike dimensioneerimine	45
2.7.	Alumise tala tugevuskontrollid	47
2.7.1.	Valitud profiil	47
2.7.2.	Painutatud varda ristlõike kandevõime	48
2.7.3.	Ristlõike põikjõukandevõime	48
2.7.4.	Tõmmatud elemendi pikijõukandevõime	49
2.7.5.	Paindemomendi ja põikjõu koosmõju	50
2.7.6.	Paindemomendi ja pikijõu koosmõju	51
2.8.	Kaldposti tugevuskontrollid	52
2.8.1.	Valitud profiil	52
2.8.2.	Surutud varda nõtkepikkus	53
2.8.3.	Painutatud varda ristlõike kandevõime	56
2.8.4.	Tsentriselt surutud varda ristlõike kandevõime	57
2.8.5.	Ristlõike põikjõukandevõime	58
2.8.6.	Paindemomendi ja põikjõu koosmõju	59
2.8.7.	Paindemomendi ja pikijõu koosmõju	59
2.9.	Ülemise tala tugevuskontrollid	61
2.9.1.	Valitud profiil	61
2.9.2.	Painutatud varda ristlõike kandevõime	62
2.9.3.	Ristlõike põikjõukandevõime	63
2.9.4.	Tõmmatud elemendi pikijõukandevõime	64

2.9.5.	Paindemomendi ja pöikjõu koosmõju	65
2.9.6.	Paindemomendi ja pikijõu koosmõju	65
2.10.	Keevisliite tugevuskontroll	66
2.11.	Stabiilsus	68
2.11.1.	Tala seina nihkestabiilsus	68
2.11.2.	Kaldposti üldstabiilsus	69
2.11.3.	Ülemise tala üldstabiilsus	73
2.12.	Kasutuspiiriseisundi läbipained.....	76
2.12.1.	Alumise tala läbipaine kasutuspiiriseisundis	76
2.12.2.	Ülemise tala läbipaine kasutuspiiriseisundis	76
2.13.	Korrosioonikaitse	77
2.14.	Tulemused	78
KOKKUVÕTE		79
KASUTATUD KIRJANDUS		80
LISAD		81
Lisa 1. Eskiislahendused		82
Lisa 2. Ajaloolised fotod		84
Lisa 3. Kaasaegsed fotod		87
Lisa 4. Arvutusmudel		90
Lisa 5. Graafiline osa.....		91

TÄHISED JA LÜHENDID

Ladina suurtähed

A – ristlõike pindala (mm^2)

A_{ref} – ristlõike arvutuslik pindala (mm^2)

A_v – ristlõike lõikepindala (mm^2)

C_e – avatustegur

C_{my} – ekvivalentse paindemomendi tegur

C_t – soojustegur

E – elastsusmoodul (N/mm^2)

F_{Ed} – arvutuslik keevisele mõjuv jõud (kN)

F_h – koormus üldhälbest (kN)

F_{Rd} – arvutuslik keevise kandevõime (kN)

F_w – tuulekoormus (kN)

G_k – koondatud alaliskoormuse normatiivne suurus (kN)

H_{Ed} – horisontaalraktsioon (kN)

I – inertsimoment (cm^4)

I_v – turbulentsi intensiivsus

K_c – suhteline jäikus

K_{ij} – riivtalade suhteline jäikus

L – pikkus (m) / silde pikkus (m)

L_{cr} – nõtkepikkus (mm)

N_{Ed} – elemendi arvutuslik pikijõud (kN)

N_{Rd} – arvutuslik pikijõukandevõime (kN)

M_h – paindemomendi väärtus (kNm)

M_{Rd} – arvutuslik paindekandevõime (kNm)

M_s – paindemomendi väärtus (kNm)

M_{Ed} – elemendi arvutuslik paindemoment (kNm)

P – eelpingekoormus (kN)

Q_k – muutuva koondatud koormuse normatiivne suurus (kN)

R_e – Reynoldsi arv

V_{Ed} – elemendi arvutuslik põikjõud (kN)

V_{Rd} – arvutuslik põikjõukandevõime (kN)

W_{el} – ristlõike elastne vastupanumoment (cm^3)

Ladina väiketähed

a – keevisliite kõrgus (mm)

$a_{w,f}$ – ristlõiget arvestav tegur

b – laius (mm)

c – ristlõike arvutuslik kõrgus (mm)

c_d – dünaamikategur

c_{dir} – suunategur

c_e – ekspositsioonitegur

c_f – jõutegur

$c_{f,0}$ – tuulejõutegur ilma vaba otsata

c_o – pinnavormitegur

c_{pe} – rõhutegur

c_r – jõutegur

c_s – suurustegur

c_{season} – aastaajategur

d – diameeter (mm)

e – ristlõike pindala (mm^2)

f_u – normatiivne tõmbetugevus (N/mm^2)

$f_{v,w,d}$ – arvutuslik nihketugevus (N/mm^2)

f_y – voolavuspiir (N/mm^2)

g_k – kaal pindalaühiku kohta (kN/m^2)

h – kõrgus (mm)

h_w – ristlõike arvutuslik kõrgus (mm)

i – inertsiraadius (cm)

k – ekvivalentne pinnakaredus

k_I – turbulentsitegur

k_r – maastikutüübi tegur

k_{ij} – koosmõjutegur

l – pikkus (mm)

l_j – jõuõla pikkus (mm)

l_s – lumehange pikkus (mm)

l_w – keevisõmbluse arvutuslik pikkus (mm)

m – postide arv reas
 m_f – lipu mahukaal (kg/m^2)
 n – pikijõu mõju arvestav tegur
 q_b – keskmine baaskiirusrõhk (kN/m^2)
 q_k – ühtlaselt jaotatud koormuse normväärtus (kN/m^2)
 q_p – tippkiirusrõhk (kN/m^2)
 r – raadius (mm)
 s – lumekoormus katusel (kN/m^2)
 s_k – normatiivne lumekoormus maapinnal (kN/m^2)
 z – kõrgus maapinnast (m)
 z_0 – kareduse mõõt (m)
 z_e – arvutuskõrgus maapinnast (m)
 t – ristlõike seina paksus (mm)
 t_w – ristlõike seina paksus (mm)
 ν – õhu kinemaatiline viskoossus (m^2/s)
 v_b – tuule baaskiirus (m/s)
 $v_{b,0}$ – tuule põhiline baaskiirus (m/s)
 v_m – keskmine tuulekiirus (m/s)
 w_c – koormamata konstruktsioonielemendi eeltõus (mm)
 w_e – tuulerõhk (kN/m^2)
 w_i – koormusest põhjustatud läbipaine (mm)
 w_{max} – konstruktsiooni lõplik läbipaine (mm)

Kreeka suurtähed

Θ – tuule suund ($^\circ$)
 Φ – raami üldhälve / nõtkekõverast sõltuv abisuurus
 Φ_0 – algkalde põhiväärtus
 X – nõtketegur
 X_{LT} – kiivetegur

Kreeka väiketähed

α – kaldenurk ($^\circ$) / hälbetegur
 α_{cr} – tegur üldstabiilsuse kaotuse arvestamiseks
 α_h – kõrgusest sõltuv vähendustegur

α_m – postide arvu reas arvestav tegur
 β_w – korrelatsioonitegur
 γ – lume puistemahukaal (kN/m^3)
 γ_G – alaliskoormuse osavarutegur
 γ_{Mi} – materjali osavarutegur
 γ_P – eelpingekoormuse osavarutegur
 γ_Q – muutuvkoormuse osavarutegur
 $\delta_{H,Ed}$ – horisontaalsiirete erinevus (mm)
 ε – terase tugevusklassi arvestav tegur
 η – nihkestabiilsuse faktor
 η_i – jaotusfaktor
 λ – saledus
 μ – nõtkepikkuse tegur
 μ_i – lumekoormuse kujutegur
 μ_s – lume libisemisel tekkiva hange kujutegur
 μ_w – tuule mõjul kuhjuva lumehange kujutegur
 ρ – õhu tihedus (kg/m^3)
 σ_v – turbulentsi standardhälve (m/s)
 φ – täitetegur
 ψ_0 – kombinatsioonitegur
 ψ_λ – otsa mõju tegur

SISSEJUHATUS

Käesolevas magistritöös on koostatud laiendatud arhitektuurne projekt Tartus asuva korporatsiooni Fraternitas Liviensis konvendihoone torni kuplile. Käsitlusalune hoone on historitsistlikus stiilis puitehitis, mis asub Tartu vanalinna muinsuskaitsealal ning on kantud Tartu arhitektuurimälestiste nimekirja. Hoone on ehitatud 19. sajandi lõpus. Korporatsioonihoone torn vajab ümberehitust.

Käsitlusalune objekt pakkus töö autorile huvi, sest võimaldas rakendada nii arhitektuurseid ja muinsuskaitselisi kui ka insener-tehnilisi teadmisi. Töö on praktilise väärtusega.

Käesoleva magistritöö eesmärgiks on Eestis kehtivatele standarditele vastava laiendatud arhitektuurse eelprojekti koostamine. Eelprojekti koosseisus peavad olema esitatud ka muinsuskaitse eritingimused lihtsustatud kujul. Tornil metallkarkass võimaldab rakendada insenerlahendusi terasraami projekteerimisel.

Magistritöö koostamise ülesanded olid järgnevad: hoone mudeli koostamine vanade jooniste alusel, arhitektuurse lahenduse väljatöötamine arvestades omaniku soove ning Tartu linna kultuuriväärtuste teenistuse nõudeid, eelprojekti arhitektuursete jooniste ja seletuskirja koostamine koos lihtsustatud muinsuskaitse eritingimustega, tornile mõjuvate koormuste arvutamine, arvutusmudeli koostamine ning projekteeritud teraskonstruktsioonide tugevusarvutuste tegemine.

Jooniste tegemisel on kasutatud arvutiprogramme ArchiCAD 18 ja AutoCAD 2015. Arvutusmudel teraskonstruktsiooni sisejõudude leidmiseks on koostatud programmis AxisVM 12.

Antud magistritöö esimene osa käsitleb arhitektuurset eelprojekt. Seletuskirjas on kirjeldatud hoone asendiplaani lahendust, torni arhitektuurset ja konstruktiivset lahendust, tehnosüsteeme, tuleohutust ning muinsuskaitse eritingimusi. Töö teine osa käsitleb projekteeritud terasraami tugevusarvutusi. Lisades on esitatud eskiislahendused, ajaloolised ja kaasaegsed fotod, arvutusmudel, eelprojekti graafiline osa.

1. EELPROJEKTI SELETUSKIRI

1.1. Üldosa

1.1.1. Objekt ja selle asukoht

Käesolev magistritöö käsitleb Korporatsiooni Fraternitas Livienensis konvendihoonet torni ümberehitust Tartu vanalinna muinsuskaitsealal. Töö on koostatud arhitektuurse eelprojekti staadiumis. Tellija on Korporatsioon Fraternitas Livienensis vilistlaskogu. Objekt asub aadressil Jakobi 52, Tartu linn, Tartu maakond. Ehitise paikneb 1230 m² suurusel krundil katastriüksuse tunnusega 79507:017:0003. Hoone ehitisregistri kood on 104039476. Hoone on ehitismälestisena kaitse all, mälestise registri number on 6959.

1.1.2. Alusdokumendid

Projekteerimise aluseks on tellija poolt antud lähteülesanne, 1980. aasta ajalooline õiend „Tartus, V. Kingissepa t. 68 asuva hoone ajalooline õiend ja restaureerimisettepanekud“ [1], 2012. aasta torni restaureerimisprojekt, arhitektid Kaido Kepp ja Marti Soosalu [2] ning Geopartner OÜ 2016. aasta detsembris koostatud geodeetiline alusplaan GEO 16-883 [3].

Projekteerimistöödel on kasutatud normdokumente: Ehitusseadustik (vastu võetud 11.02.2015) [4], EVS 811:2012 – Hoone ehitusprojekt [5], Tartu linna ehitismäärus nr 7 (vastu võetud 19.12.2013) [6], Ehitisele esitatavad tuleohutusnõuded nr 54 (vastu võetud 02.06.2015) [7].

1.1.3. Lähteülesanne

Lähteülesanne on projekteerida korporatsioonihoonet tornile uued konstruktsioonid koos arhitektuurse lahendusega. Olemasolevatel puitkonstruktsioonidel on veekahjustused. Varasem 2012. aasta restaureerimisprojekt ei leidnud kasutust. Projekteeritud katuseterrass ei sümptatiseerinud korporatsiooni vilistlaskogu liikmetele, kes pidasid klaasruumi nostalgiliseks paigaks. Samuti vajas tellija ohutumat lahendust lipumastini pääsemiseks.

1.2. Asendiplaaniline lahendus

1.2.1. Paiknemine

Käsitleva maatükk asub aadressil Jakobi 52, Tartu linn, Tartu maakond. Katastriüksuse number on 79507:017:0003. Krunt paikneb kesklinna äärealal. Kinnistu külgneb lääne ja kagu suunast elamumaadega. Krundi idaküljel asub ilma katastriüksuse tunnusega maatükk, põhjas Jakobi tänava ning lõunas Veski tänava transpordimaad. Jakobi 52 krundil paikneb üks hoone.

1.2.2. Vertikaalplaneering

Hoone põrandatasapinda ning krundi maapinda torni ümberehituse käigus ei muudeta. Hoone ±0,000 pinna absoluutkõrgus on +58,500 m. Projektis käsitleva torni kõrgus ±0.000 tasandist lamekatuse katusekatte pinnani on 14,6 m ning lipumasti ülemise otsani 20,3 m.

1.2.3. Liikluskorraldus

Olemasolevad ligipääsud krundile Jakobi ja Veski tänavatelt säilivad. Sõidukiga pääseb krundile Veski tänavalt. Parkimine on võimalik krundil ja Veski tänava juurdepääsutee ääres.

1.2.4. Haljastus

Krundi haljastust käesoleva projektiga ei muudeta. Jakobi tänava poolt piirneb krunt maakivimüüri, mis kindlustab nõlva. Müüriil paikneb tellisaed kahe sepistatud väravaga.

1.2.5. Keskkonnakaitse

Hoone heitveed juhitakse linna ühisveevärgiga seotud kanalisatsioonisüsteemi. Prügi ja jäätmed paigaldatakse hoone juures olevatesse prügikonteinerisse. Prügikonteinerid asuvad krundi kagunurgas. Juurdepääs prügikonteinerite tühjendamiseks on Veski tänavalt.

Ehitusjätmed antakse ehitaja poolt üle vastavalt kehtivale korrale prügimajandust organiseerivale ja litsentseeritud asutusele. Jäätmete äraveoks tellitakse vastavalt nenede tekkimisele ja vajadusele eraldi konteinerid, mida regulaarselt tühjendatakse.

1.3. Arhitektuurne lahendus

1.3.1. Olemasolev olukord

Historistslik elamu on ehitatud 1878. aastal. Käesoleva projektiga ei muudeta hoone põhiosa konstruktsioone ega fassaade. Olemasolev torni klaasist paviljon asendatakse ajalooliste fotode põhjal kavandatud uue lahendusega, kus paviljoni katusel on piirde ja lipumastiga terrass.

1.3.2. Arhitektuurne üldkontseptsioon

Torni klaaskatus vahetatakse uue klaaskatuse vastu, kuid puitkonstruktsioonid asendatakse teraskonstruktsioonidega, mis võimaldab väiksema ristlõike kasutamist. Torni nurkades paiknevad ehistornikesed on amortiseerunud ja rekonstrueeritakse. Tornikeste vahele ehitatakse piire. Platvormile pääsuks rajatakse torni varjatumasse külge katuseluuk ning selle kõrvale paigaldatakse metallist trepp. Platvormi ümbritseb samuti piire. Uued piirded kavandatud ajalooliste fotode põhjal.

1.3.3. Hoone tehnilised näitajad

Ehitisealune pind	452,6 m ²
Maapealsete korruste arv	2
Kõrgus	15,8 m
Pikkus	22,5 m
Laius	21,3 m
Suletud netopind	892,1 m ²
Köetav pind	702,1 m ²
Maht	4 232 m ³

Tehnilised näitajad põhinevad Ehitisregistri [8] andmetel.

1.3.4. Välisviimistlus

KELPKATUS:	klaas, vaskplekk alumises ääres
PLATVORM, TREPP:	tsingitud metallrest
TORNIKESD:	puit, toon analoogne olemasoleva fassaadiga
TORNIKESTE KATUSED:	vaskplekk
RÄÄSTAKARNIISID:	puit, toon analoogne olemasoleva fassaadiga
PIIRDED:	puit, toon analoogne olemasoleva fassaadiga

1.4. Üldine konstruktiivne lahendus

1.4.1. Hoone põhimaht

Hoone põhikonstruktsioone käesoleva projektiga ei muudeta.

1.4.2. Torni kandekonstruktsioonid

Torni paviljoni kandekonstruktsioon on projekteeritud terasest. Kanttoruprofiilidest raam eeltoodetakse S 355 terasest. Alumised talad on ristlõikega 120 x 120 x 4 mm ja ülemised talad 90 x 90 x 4 mm. Terasraamile on teostatud tugevusarvutused, mis on esitatud 2. peatükis.

1.4.3. Torni katus

Tornile on projekteeritud klaasfassaadiga seinad (kelpkatus). Klaasfassaadide dimensioneerimine ja tehnilised lahendused esitab tootjafirma.

Tornile rajatav lamekatus on projekteeritud järgnevalt:

- metallrest + tugijalad
- SBS pealiskiht
- SBS aluskiht
- veekindel vineer 21 mm
- puitlaagid 50x150 mm
- teraskonstruktsioon

1.4.4. Lipumast

Torni käidavale katuseosale paigaldatakse 6 m kõrgune klaasplastist lipumast.

1.4.5. Trepp

Torni lõunapoolsele küljele rajatakse terasest trepp, mille kaudu on tagatud pääs lamekatusele.

1.4.6. Piirded

Torni alumisele ja ülemisele tasapinnale rajatakse puitpiirded, puidu tugevusklass C16. Piirete väljanägemine peab ühtima arhitektuurses ja muinsuskaitse osas väljatoodud ajaloolise ilmega.

1.4.7. Ehistornikesed

Arhitektuurses lahenduses on esitatud torni igas nurgas ehistornike. Ehitatavate tornikeste väljanägemine peab ühtima arhitektuurses ja muinsuskaitse osas väljatoodud ajaloolise ilmega.

1.5. Küte ja ventilatsioon

Hoone olemasolevaid kütte- ja ventilatsioonisüsteeme ei muudeta. Katusealusesse ruumi kütet kavandatud ei ole.

1.6. Veevarustus ja kanalisatsioon

Hoone olemasolevaid vee- ja kanalisatsioonisüsteeme ei muudeta. Käsitlusaluse torni osasse veeühendust planeeritud ei ole.

1.7. Elektripaigaldis

Käesoleva projektiga ei muudeta elektrisüsteeme. Kui olemasolev elektrilahendus vajab uuendamist, lahendatakse see eraldiseisva eriosade projektiga.

1.8. Tuleohutus

1.8.1. Alusdokumendid

Tuleohutusosa aluseks on majandus- ja taristuministri 02.06.2015 määrus nr 54: Ehitisele esitatavad tuleohutusnõuded [7].

1.8.2. Tulepüsivus

Hoone tulepüsivusklass TP-3 (tuldkartev).

Kasutusel muu haridus- või teadushoonena ehk IV kasutusviis.

1.8.3. Tuletõkkeseksioonid

Hoonel on kaks maapealset korrust, mis moodustavad kaks tuletõkkeseksiooni.

1.8.4. Tuletundlikkus

Seind, lagi:	Ds-2,d2
Põrandad:	nõudeid ei esitata
Välisseina välispind:	Ds-2,d2
Katusekatte klass:	BROOF

1.8.5. Piksekaitse

Hoonel on ette nähtud piksekaitse.

1.8.6. Tuleohutuspaigaldised

Pööningule paigaldatakse autonoomne suitsuandur ja vähemalt üks 6 kg pulberkustuti. Lähim tuletõrje veevõtukoht on hüdrant Veski tänaval, hoonest umbes 100 m kaugusel.

1.8.7. Tehnosüsteemide tuleohutus

Hoone tehnosüsteeme ei muudeta. Hoonel on neli korstent, mida ei kasutata enam suitsu ärajuhtimiseks.

1.9. Muinsuskaitse

1.9.1. Asukoht

Hoone paikneb Tartu kesklinna äärealal ning jääb vanalinna muinsuskaitseala sisse. Hoone on kõige paremini vaadeldav Jakobi tänavalt, kuid kesklinna poolt varjavad vaadet naaberkrundil kasvavad suured puud. Hoone juurde pääseb Jakobi ja Veski tänavatelt.

1.9.2. Ajalugu

Refereeritud on korporatsioon Fraternitas Livienis koduleheküljel [9] esitletud Jakobi 52 hoone ajalugu.

1802. aastal ülikooli taasavamisel anti ülikoolile majandamiseks Toomemägi ja sellega piirnev ala. Krundid renditi ülikooli teenistujatele ja osaliselt ka linnaelanikele. Jakobi mäel paiknenud Toomekrunt nr 21 ühendati nr 25-ga ning oli 19. sajandi teisel poolel renditud vendadele T. Ja J. Beisele ning seal asus puuviljaaed koos väikese vahimajakeselega.

1878. aastal loovutasid Beised rendiõiguse ning müüsid krundil asunud majakese, puud, põõsad ja platsi ümbritseva aia S. v. Reissnerile. Omandati maatükk suurusega 262 ruutsülda (nr 21 178 ruutsülda ja nr 25 84 ruutsülda). Uus kinnistu registreeriti linnavalitsuses numbriga 301. Kohe pärast krundi omandamist lasi S. v. Reissner platsile maja ehitada. 1879. aasta kinnisvarade hindamisel märgitakse, et Jakobi tänaval asuval

krundil 301 politseikrundi 143a all paikneb S. v. Reissnerile kuuluv puust elumaja. Ehitise projekti autorit ei ole õnnestunud määrata ja algsed projektjoonised puuduvad. Alles 1884. aastal andis linnavalitsus S. v. Reissnerile tõendi selle kohta, et viimane on oma krunt 301-le ehitanud puidust elumaja koos kõrvalhoonetega.

1895. aastal läks kinnistu S. v. Reissneri pärija H. Tschischi kätte. 1911. aasta hindamisel kuulus H. Tschischile Jakobi tänaval puidust elumaja, mille alumisel korrusel asus 8-toaline korter, teisel korrusel 7-toaline korter, keldris kaks eraldi 1-toalist korterit. Krundil oli veel puidust kuur ja tall.

1930. aastal omandasid maatüki koos ehitistega H. Tschischi pärijad, kes müüsid kohe pool krundist E. Puijatile ja 1931. aastal ka ülejäänud poole. 1930. aastal valmistas maamõõtja A. Martinson maatüki plaani koos seal paiknenud ehitistega. 1937. aastal läks kinnisvara E. Puijati lesele ja kahele tütrele. Huvitav on siin fakt, et mõlemad tütreid kuulusid naiskorporatsiooni Indla ja olid abielus frater liviensistega. 30-ndate aastate algusest kasutasid Puijatid maja teist korrust korterina ja esimesel korrusel ning keldris oli rentnikuna korporatsioon Fraternitas Liviensis ning seda kuni aastani 1940.

1980. aastal maja otsustati Tartu linnavõimude poolt anda Tartu Lastekunstimuuseumi käsutusse. Majas tehti kapitaalremont, mille käigus taastati maja esialgne ilme ja ka ruumijaotus, mis sobis kunstikooliga. Lastekunstimuuseum alustas tegevust majas orienteeruvalt 1983. aastal.

1996. aastal tagastati omandireformi käigus Jakobi 52 maja Asta Otsingule (Puijat). 1998. aastal pärandas Asta Otsing maja korporatsioonidele Fraternitas Liviensis ja Indla võrdsetes osades. Asta Otsing oli korporatsioon Indla vilistlane ja tema abikaasa Roland Otsing oli Fraternitas Liviensise vilistlane. 2005. aasta varakevadel tegi korporatsioon Fraternitas Liviensise vilistlaskogu korporatsioonile Indla ettepaneku teine pool majast ära müüa. Juulis 2005 sõlmiti võlaõigusleping, määrati kindlaks hind ja selle tasumise kord. Detsembris 2005 toimus lõplik ostu-müügilepingu vormistamine.

2006. aasta juunis kolis korporatsioon Jakobi 52 ruumidesse. Konvendikorter seati sisse teise korruse ruumides.

1.9.3. Hoone kirjeldus

Hoone asub Tartu vanalinna muinsuskaitsealal ja on kantud Tartu arhitektuurimälestiste nimekirja nr 76 – puitelamu Tartus Jakobi 52, 19/20. saj.

Korporatsiooni kasutuses olev hoone on historitsistlikus stiilis puitehitis, mis paikneb kõrgel lintvundamendil. Hoone välimus on kujunenud mitme ehitusperioodi vältel. Põhiplaanilt läheneb hoone ruudule. Ehitisel on valtsplekist kelpkatus. Kogu katuse perimeetrit kaunistab puitpits. Hoone põhjakülje keskosa on tagasiastega, seal asub peasissepääs. Asümmeetrilist peafassaadi ehib rikkaliku puitdekooriga sammastele toetuv rõdu, mille piire on samuti puidust (foto 3.4, lisa 3). Hoone idakülje keskosas paiknevad nii üla- kui allkorrusel kolm akent. Katusel asub pisike viilkatusega vintskapp (foto 3.2, lisa 3). Lõunaküljel on väljaehitusena trepikoda ja veranda, mõlemad kahekorruselised. Veranda toetub postvundamendile. Väljaehitise mõlemal korrusel on rombi-kujuliste motiividega aknad. Ühel pool väljaehitisi on nii esimesel kui teisel korrusel kaks akent, teisel pool mõlemal korrusel piirdelaudadega tähistatud petikaknad (foto 3.1, lisa 3). Läänekülje esimese korruse sein on tagasiastega, kuid selle ette jääb veranda. Ka selle veranda akendel on kasutatud rombi-kujulisi motiive. Teise korruse sein on liigendamata. Veranda kohal on kolm akent, neist ühele küljele jäävad mõlemale korrusele veel ühed aknad ning teisel küljel on piirdelaudadega tähistatud petikaknad. Peafassaadi kõrval on veel üks väljaehitus, kus asub lisasissepääs (foto 3.3, lisa 3). Kagu- ja loodenurgas asuvatel eenduvatel osadel on eraldi viilkatus. Viilu alla jääb püstine voodrilaud, mille alaservas on puidust väljasaetud tähemotiivid. Ka sarika otstesse on saetud kaunistav profiil. Kagunurgas paikneb väljaehitusena ka keldriosa.

Hoone kirdenurgas paikneb kahe korruse võrra kõrgem torn. Torni esimese ja teise korruse aknad on treitud kaunistustega, ülemistel lisaks ka kolmnurkviilud. Idaküljel asuv ülakorruse aken on kõige rikkalikuma kujundusega. Tornil on klaasist kelpkatus ning selle kohal katusega platvorm. Kõige tipus asetseb lipumast. Torni nurkades on ehistornikesed (foto 3.5, lisa 3). [1]

1.9.4. Praegune olukord

Hoone on rahuldavas seisukorras. Ehitise välisilme on kujunenud aja jooksul algele kujule juurdeehitusi lisades. Torniklaaskatus ja selle konstruktsioonid on vananenud. Katus laseb vett läbi, puitkonstruktsioonidel on veekahjustused. Nurkades paiknevad ehistornikesed on amortiseerunud. Pääs torni tipus paikneva lipumastini on keeruline ja ohtlik.

1.9.5. Kultuuriväärtuslikud hooneosad

Erinevatel fotodel on näha, et hoone tornil on aja jooksul olnud kolme erineva kujuga kiiver. Fotod ei ole selgelt dateeritud, mistõttu ei ole võimalik üheselt tuvastada ehitusaegu.

Olemasolev tornikiiver on ehitatud ühe ajaloolise eeskujul. Kiivrist allapoole jääv torni osa on säilinud muutmata kujul. Ainuke muudatus on toimunud tornis paiknevas ruumis, mille seinad on 1980. aasta ümberehituse käigus kaetud lakitud laudisega.

Sama ümberehitusega rajatud tornikiivri ehituskvaliteet on kasin ega ole silmapaistvalt väärtuslik ehituslike lahenduste osas. Tähelepanuväärne on, et kuigi hoone katusematerjal on tsinkplekk, on ümberehituse käigus nurgatornide katmiseks valitud vaskplekk. Nurkades paiknevad ehistornid on näha kõigil ajaloolistel fotodel, kuid need on olnud varem silmnähtavalt sihvakamad.

1.9.6. Eritingimused

Säilitamisele kuulub kogu konstruktsioon torni katusest allpool, uuendamist vajavad torni katuseosa koos nurkades paiknevate ehistornikestega. Tornümberehitamisel tuleb eeskujuks võtta üks kolmest varasematest torni põhilahendustest.

Ühe lahendusena on tornil olnud kelpkatus, mille tipus paiknes platvorm. Platvormi katusel asetses lipumast (foto 2.1, lisa 2). See variant on võetud 1980. aasta ümberehitusel eeskujuks praegusele lahendusele. Valtsplekist katuse asemel on klaaskatus, mille all asub

ruum väiksemaks koosviibimiseks. Praeguse lahenduse tõttu on lipu hooldamine ja vahetamine väga ohtlik, sest puudub korralik pääs mastini (foto 2.2, lisa 2).

Teise lahendusena on hooneosal olnud kaldega kelpkatus, mille keskel asetses lipumast (fotod 2.3 ja 2.4, lisa 2). Selle variandi järgi on koostatud 2012. aasta rekonstrueerimisprojekt, mis jäi teostamata.

Kolmas varasematest põhilahendustest on olnud valtsplekist kelpkatus ning selle peale jääv platvorm koos lipumastiga (fotod 2.5 ja 2.6, lisa 2). Käesolevas projektis on lähtutud viimasest.

Välisviimistluses on lubatud puit, plekk, klaas ja metall. Vastupidavuse, stabiilsuse ja tarindite läbimõõdu vähendamise huvides võib kandva konstruktsiooni materjalina kasutada terast. Kavandada tornikiiver väikese karniisi ja räästaga, et kaitsta fassaadi otsese sademete eest (foto 2.6, lisa 2). Värvide valimisel lähtuda olemasolevast värvilahendusest.

Ehistornikesed tuleb taastada nende algsel kujul, keskosa väiksema läbimõõduga kui olemasolev. Tornikeste katusekattena võib kasutada valtsitud tsink- või vaskplekki.

Torni piirded on varem olnud puidust. Uued piirded tuleb kavandada ajalooliste fotode järgi analoogselt puidust.

2. TUGEVUSARVUTUSED

2.1. Üldosa

Käesolevas magistritöös on teostatud projekteeritud teraskonstruksioonide ristlõike dimensioneerimine, tugevuskontrollid kandepiirseisundis ning läbipainded kasutuspiirseisundis. Konstruksioonisõlmesid käesolev töö ei käsitle. Elemendid liidetakse keevisliitega. Arvutusmudel on esitatud lisas 4.

2.2. Kasutatud normdokumendid, arvutiprogrammid ja abimaterjalid

Standardid

EVS-EN 1990:2002 + NA – Eurokoodeks. Ehituskonstruksioonide projekteerimise alused. [10]

EVS-EN 1991-1-1:2002 + NA – Eurokoodeks 1. Ehituskonstruksioonide koormused. Osa 1-1: Üldkoormused. Mahukaalud, omakaalud, hoonete kasuskoormused. [11]

EVS-EN 1991-1-3:2006 + NA – Eurokoodeks 1. Ehituskonstruksioonide koormused. Osa 1-3: Üldkoormused. Lumekoormus. [12]

EVS-EN 1991-1-4:2007 + NA – Eurokoodeks 1. Ehituskonstruksioonide koormused. Osa 1-4: Üldkoormused. Tuulekoormus. [13]

EVS-EN 1993-1-1:2005 + NA – Eurokoodeks 3. Teraskonstruksioonide projekteerimine. Osa 1-1: Üldreeglid ja reeglid hoonete projekteerimiseks. [14]

Arvutiprogrammid

Graphisoft ArchiCAD 18

Autodesk AutoCAD 2015

AxisVM 12

Muud abimaterjalid

Ehituskonstruktori käsiraamat [15]

Teraskonstruksioonide arvutus Eurokoodeks 3 järgi [16]

2.3. Koormused

2.3.1. Üldosa

Hoonele mõjuvad kasutatavate materjalide ja konstruktsioonide omakaalukoormused, konstruktsiooni üldhälbed, katusele mõjuv lume- ja tuulekoormus ning käidavale katuseosale kasuskoormus.

2.3.2. Omakaal

Omakaalu arvutamisel on lähtutud standardist EVS-EN 1991-1-1:2002 + NA [11] ja tootjapoolsetest tehnilistest andmetest. Omakaalu koormused on esitatud vastavalt koormuse iseloomule punkt-, joon- ja lauskoormustena alljärgnevalt.

Punktkoormused

Lipumast	17 kg	$G_k = 0,170 \text{ kN}$
----------	-------	--------------------------

Joonkoormused

Teras 120 x 120 x 4 mm	14,3 kg/m	$g_k = 0,140 \text{ kN/m}$
Teras 90 x 90 x 4 mm	10,5 kg/m	$g_k = 0,103 \text{ kN/m}$
Käsi- puu	3,7 kN/m ³	$g_k = 0,237 \text{ kN/m}$

Lauskoormused

Plekk 0,5 mm	4,5 kg/m ²	$g_k = 0,044 \text{ kN/m}^2$
Klaas	25 kN/m ³	$g_k = 0,500 \text{ kN/m}^2$
Katus		$g_k = 0,673 \text{ kN/m}^2$
- Metallrest + tugijalad	35 kg/m ² + 10 %	$g_k = 0,377 \text{ kN/m}^2$
- SBS pealiskiht	5 kg/m ²	$g_k = 0,049 \text{ kN/m}^2$
- SBS aluskiht	4 kg/m ²	$g_k = 0,039 \text{ kN/m}^2$
- Veekindel vineer	0,096 kN/m ²	$g_k = 0,096 \text{ kN/m}^2$
- Puitlaagid	0,112 kN/m ²	$g_k = 0,112 \text{ kN/m}^2$

2.3.3. Kasuskoormus

Kasuskoormus on valitud vastavalt standardile EVS-EN 1991-1-1:2002 + NA [11]. Käidavat katuseosa käsitletakse kui klass A rõdu. Vastav kasuskoormus $q_k = 2,5 \text{ kN/m}^2$.

2.3.4. Üldhälbed

Üldhälbed arvestavad raami valmistamisel ja koormuste mõjul tekkinud siiret ebasoodsas suunas. Konstruktsiooni üldhälbed on arvatud vastavalt standardile EVS-EN 1993-1-1:2005 + NA [14] ja raamatule „Teraskonstruktsioonide arvutus Eurokoodeks 3 järgi“ [16].

Koormus üldhälbest arvutatakse järgneva valemiga:

$$F_h = m \cdot \Phi \cdot N_{Ed} \quad (2.3.1)$$

Raami üldhälve leitakse valemiga:

$$\Phi = \Phi_0 \cdot \alpha_h \cdot \alpha_m \quad (2.3.2)$$

Algkalde põhiväärtus:

$$\Phi_0 = \frac{1}{200}$$

Kõrgusest h sõltuv vähendustegur arvutatakse valemiga:

$$\alpha_h = \frac{2}{\sqrt{h}} \quad (2.3.3)$$

Sealjuures peab olema täidetud järgnev tingimus:

$$\frac{2}{3} \leq \alpha_h \leq 1,0 \quad (2.3.4)$$

Postide arvu reas arvestav vähendustegur arvutatakse valemiga:

$$\alpha_m = \sqrt{0,5 \cdot \left(1 + \frac{1}{m}\right)} \leq 1,0 \quad (2.3.5)$$

Lähteandmed arvutusteks on järgnevad:

$$h = 3,115 \text{ m}$$

$$m = 2$$

$$N_{Ed} = 28,5 \text{ kN}$$

Kõrgusest h sõltuv vähendustegur vastavalt valemile 2.3.3:

$$\alpha_h = \frac{2}{\sqrt{3,115}} = 1,133$$

Tingimus 2.3.4:

$$\frac{2}{3} \leq \alpha_h \leq 1,0 \rightarrow \alpha_h = 1,0$$

Vastav tingimus ei ole täidetud, seega $\alpha_h = 1,0$.

Postide arvu reas arvestav vähendustegur vastavalt valemile 2.3.5:

$$\alpha_m = \sqrt{0,5 \cdot \left(1 + \frac{1}{2}\right)} = 0,866$$

Raami üldhälve arvutatud valemiga 2.3.2:

$$\phi = \frac{1}{200} \cdot 1,0 \cdot 0,866 = 0,00433$$

Koormus üldhälbest valemiga 2.3.1:

$$F_h = 2 \cdot 0,00433 \cdot 28,5 = 0,247 \text{ kN}$$

2.3.5. Lumekoormus

Hoone torni lumekoormus on arvutatud vastavalt standardile EVS-EN 1991-1-1:2002 + NA [12]. Tornil on kelpkatus kaldega 65° ning käidav lamekatus minimaalse kaldega. Mõlema katuse ääres on piirded, mis võivad põhjustada lumehangede teket.

Lumekoormus konstruktsioonile arvutatakse valemiga:

$$s = \mu_i \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k \tag{2.3.6}$$

Avatustegur vastavalt rahvuslikule lisale:

$$C_e = 1,0$$

Soojustegur mittekõetava ruumi kohal:

$$C_t = 1,0$$

Tartus asuva hoone normatiivne lumekoormus maapinnal:

$$s_k = 1,5 \text{ kN/m}^2$$

Kujutegur μ_1 lamekatuse piirde taha kuhjuvale lumele arvutatakse valemiga:

$$\min \begin{cases} \mu_1 = 2 \cdot h/s_k \\ \mu_1 = 2 \cdot b/l_s \\ \mu_1 = 8 \end{cases} \quad (2.3.7)$$

Hange pikkus lamekatuse piirde taha kuhjuvale lumele arvutatakse valemiga:

$$\min \begin{cases} l_s = 5 \cdot h \\ l_s = b \\ l_s = 15 \end{cases} \quad (2.3.8)$$

Kujutegur μ_1 kelpkatuse takistuse taha kuhjuvale lumele on määratud standardis:

$$\mu_1 = 0,8$$

Kujutegur μ_2 kelpkatuse piirde taha kuhjuvale lumele arvutatakse valemiga:

$$\mu_2 = \frac{\gamma \cdot h}{s_k} \quad (2.3.9)$$

Sealjuures peab olema täidetud tingimus:

$$0,8 \leq \mu_2 \leq 2,0 \quad (2.3.10)$$

Kujutegur μ_2 kelpkatuse kõrge takistuse taha kuhjuvale lumele arvutatakse valemiga:

$$\mu_2 = \mu_s + \mu_w \quad (2.3.11)$$

Kusjuures peab olema täidetud tingimus:

$$0,8 \leq \mu_2 \leq 2,0 \quad (2.3.12)$$

Ülemiselt katuselt alla libisemisel tekkiva hange kujutegur lamekatuse puhul:

$$\mu_s = 0$$

Tuule mõjul kuhjuva lumehange kujutegur arvutatakse valemiga:

$$\mu_w = \frac{b}{2 \cdot h} \leq \frac{\gamma \cdot h}{s_k} \quad (2.3.13)$$

Hange pikkus kelpkatuse takistuste taha kuhjuvale lumele leitakse valemiga:

$$l_s = 2 \cdot h \quad (2.3.14)$$

Sealjuures peab olema täidetud järgnev tingimus:

$$2 \text{ m} \leq l_s \leq 6 \text{ m} \quad (2.3.15)$$

Lume puistemahukaal vastavalt standardile:

$$\gamma = 2,0 \text{ kN/m}^3$$

Lamekatuse lumekoormus

Katusekalle:

$$\alpha \approx 0^\circ$$

Lumekoormuse kujutegur vastava katusekaldega:

$$\mu_1 = 0,8$$

Lumekoormus arvutatud valemiga 2.3.6:

$$s = 0,8 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,5 = 1,2 \text{ kN/m}^2$$

Hange kuhjumine lamekatusel $\theta = 0^\circ$

Lähteandmed arvutusteks:

$$b = 2,075 \text{ m}$$

$$h = 1,2 \text{ m}$$

Hange pikkuse arvutamine valemiga 2.3.8:

$$\min \begin{cases} l_s = 5 \cdot 1,2 = 6 \text{ m} \\ l_s = 2,075 \text{ m} \\ l_s = 15 \text{ m} \end{cases}$$

$$l_s = 2,075 \text{ m}$$

Kujuteguri arvutamine valemiga 2.3.7:

$$\min \begin{cases} \mu_1 = 2 \cdot 1,2/1,5 = 1,6 \\ \mu_1 = 2 \cdot 2,075/2,075 = 2 \\ \mu_1 = 8 \end{cases}$$

$$\mu_1 = 1,6$$

Vastav lumekoormus arvatud valemiga 2.3.6:

$$s = 1,6 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,5 = 2,4 \text{ kN/m}^2$$

Hange kuhjumine lamekatusel $\theta = 90^\circ$

Lähteandmed arvutusteks:

$$b = 2,925 \text{ m}$$

$$h = 1,2 \text{ m}$$

Hange pikkuse arvutamine valemiga 2.3.8:

$$\min \begin{cases} l_s = 5 \cdot 1,2 = 6 \text{ m} \\ l_s = 2,925 \text{ m} \\ l_s = 15 \text{ m} \end{cases}$$

$$l_s = 2,925 \text{ m}$$

Kujuteguri arvutamine valemiga 2.3.7:

$$\min \begin{cases} \mu_1 = 2 \cdot 1,2/1,5 = 1,6 \\ \mu_1 = 2 \cdot 2,925/2,925 = 2 \\ \mu_1 = 8 \end{cases}$$

$$\mu_1 = 1,6$$

Vastav lumekoormus arvatud valemiga 2.3.6:

$$s = 1,6 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,5 = 2,4 \text{ kN/m}^2$$

Kelpkatuse lumekoormus

Katusekalle:

$$\alpha = 65^\circ$$

Lumekoormuse kujutegur vastava katusekaldega:

$$\mu_1 = 0,0$$

Kuna katuse alumine serv lõpeb tiheda piirdega, ei tohiks kasutatav kujutegur $\mu_1 < 0,8$, mistõttu $\mu_1 = 0,8$.

Lumekoormus arvatud valemiga 2.3.6:

$$s = 0,8 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,5 = 1,2 \text{ kN/m}^2$$

Hange kuhjumine kelpkatuse piirde taha

Lähteandmed:

$$h = 0,9 \text{ m}$$

Hange pikkus vastavalt valemile 2.3.14:

$$l_s = 2 \cdot 0,9 = 1,8 \text{ m}$$

Tingimus 2.3.15:

$$2 \text{ m} \leq l_s \leq 6 \text{ m} \rightarrow l_s = 2 \text{ m}$$

Tingimus ei ole täidetud, seega $l_s = 2 \text{ m}$.

Kujuteguri arvutamine valemiga 2.3.9:

$$\mu_2 = \frac{2,0 \cdot 0,9}{1,5} = 1,2$$

Tingimus 2.3.10:

$$0,8 \leq \mu_2 \leq 2,0$$

Tingimus on täidetud.

Lumekoormused arvutatud valemiga 2.3.6:

$$s_1 = 0,8 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,5 = 1,2 \text{ kN/m}^2$$

$$s_2 = 1,2 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,5 = 1,8 \text{ kN/m}^2$$

Hange kuhjumine kelpkatuse kõrge takistuse taha $\theta = 0^\circ$

Lähteandmed:

$$b = 5,050 \text{ m}$$

$$h = 2,849 \text{ m}$$

Hange pikkus vastavalt valemile 2.3.14:

$$l_s = 2 \cdot 2,849 = 5,698 \text{ m}$$

Tingimus 2.3.15:

$$2 \text{ m} \leq l_s \leq 6 \text{ m}$$

Tingimus on täidetud.

Tuule mõjul kuhjuva lumehange kujuteguri arvutus valemiga 2.3.13:

$$\mu_w = \frac{5,050}{2 \cdot 2,849} = 0,886 < \frac{2,0 \cdot 2,849}{1,5} = 3,799$$

Kujuteguri arvutamine valemiga 2.3.11:

$$\mu_2 = 0 + 0,886 = 0,886$$

Tingimus 2.3.12:

$$0,8 \leq \mu_2 \leq 2,0$$

Tingimus on täidetud.

Lumekoormused arvutatud valemiga 2.3.6:

$$s_1 = 0,8 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,5 = 1,2 \text{ kN/m}^2$$

$$s_2 = 0,886 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,5 = 1,329 \text{ kN/m}^2$$

Hange kuhjumine kelpkatuse kõrge takistuse taha $\theta = 90^\circ$

Lähteandmed:

$$b = 5,900 \text{ m}$$

$$h = 2,849 \text{ m}$$

Hange pikkus vastavalt valemile 2.3.14:

$$l_s = 2 \cdot 2,849 = 5,698 \text{ m}$$

Tingimus 2.3.15:

$$2 \text{ m} \leq l_s \leq 6 \text{ m}$$

Tingimus on täidetud.

Tuule mõjul kuhjuva lumehange kujuteguri arvutus valemiga 2.3.13:

$$\mu_w = \frac{5,900}{2 \cdot 2,849} = 1,035 < \frac{2,0 \cdot 2,849}{1,5} = 3,799$$

Kujuteguri arvutamine valemiga 2.3.11:

$$\mu_2 = 0 + 1,035 = 1,035$$

Tingimus 2.3.12:

$$0,8 \leq \mu_2 \leq 2,0$$

Tingimus on täidetud.

Lumekoormused arvutatud valemiga 2.3.6:

$$s_1 = 0,8 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,5 = 1,2 \text{ kN/m}^2$$

$$s_2 = 1,035 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,5 = 1,553 \text{ kN/m}^2$$

2.3.6. Tuulekoormus

Konstruksioonile mõjuv tuulekoormus on arvutatud vastavalt standardile EVS-EN 1991-1-4:2007 + NA [13]. Tuulekoormus on arvutatud lipule, lipuvardale, lame- ja kelpkatusele. Hoone asukohale vastav maastikutüüp on III.

Lipu ja lipuvarda tuulekoormus arvutatakse valemiga:

$$F_w = c_s c_d \cdot c_f \cdot q_p(z_e) \cdot A_{ref} \quad (2.3.16)$$

Konstruksioonitegur vastavalt standardile:

$$c_s c_d = 1,0$$

Lipu jõuteguri arvutamise valem:

$$c_f = 0,02 + 0,7 \cdot \frac{m_f}{\rho \cdot h} \cdot \left(\frac{A_{ref}}{h^2} \right)^{-1,25} \quad (2.3.17)$$

Tippkiirusrõhk lipule ja lipuvardale arvutatakse valemiga:

$$q_p(z_e) = c_e(z_e) \cdot q_b \quad (2.3.18)$$

Arvutuslik lipu pindala on määratav valemiga:

$$A_{ref} = h \cdot l \quad (2.3.19)$$

Õhu tihedus:

$$\rho = 1,25 \text{ kg/m}^3$$

Keskmine baaskiirusrõhk arvutatakse valemiga:

$$q_b = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_b^2 \quad (2.3.20)$$

Tuule baaskiirus arvutatakse valemiga:

$$v_b = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot v_{b,0} \quad (2.3.21)$$

Suunategur vastavalt rahvuslikule lisale:

$$c_{dir} = 1,0$$

Aastaajategur vastavalt rahvuslikule lisale:

$$c_{season} = 1,0$$

Tuule põhilise baaskiiruse väärtus Eestis:

$$v_{b,0} = 21 \text{ m/s}$$

Lipuvarda jõuteguri arvutamise valem:

$$c_f = c_{f,0} \cdot \psi_\lambda \quad (2.3.22)$$

Reynoldsi arvu määramise valem:

$$R_e = \frac{b \cdot v_m(z_e)}{\nu} \quad (2.3.23)$$

Õhu kinemaatiline viskoossus:

$$\nu = 15 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

Keskmine tuulekiirus arvutatakse valemiga:

$$v_m = c_r \cdot c_0 \cdot v_b \quad (2.3.24)$$

Pinnavormitegur vastavalt rahvuslikule lisale:

$$c_0 = 1,0$$

Karedustegur arvutatakse valemiga:

$$c_r(z) = k_r \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \quad (2.3.25)$$

Maastikutüübitegur arvutatakse järgneva valemiga:

$$k_r = 0,19 \cdot \left(\frac{z_0}{z_{0,II}}\right)^{0,07} \quad (2.3.26)$$

Ringsilindri efektiivsaledus määratakse valemiga:

$$\min \begin{cases} \lambda = h/b \\ \lambda = 70 \end{cases} \quad (2.3.27)$$

Arvutuslik lipuvarda pindala on määratav valemiga:

$$A_{ref} = b \cdot l \quad (2.3.28)$$

Katusele mõjuv tuulerõhk arvutatakse valemiga:

$$w_e = q_p(z_e) \cdot c_{pe} \quad (2.3.29)$$

Tippkiirusrõhk katusele arvutatakse järgneva valemiga:

$$q_p(z) = [1 + 7 \cdot I_v(z)] \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_m^2(z) \quad (2.3.30)$$

Turbulentsi intensiivsuse arvutamise valem:

$$I_v(z) = \frac{\sigma_v}{v_m(z)} \quad (2.3.31)$$

Turbulentsi standardhälve arvutatakse valemiga:

$$\sigma_v = k_r \cdot v_b \cdot k_I \quad (2.3.32)$$

Tuule mõjualade tegur:

$$\min \begin{cases} e = 2 \cdot h \\ e = b \end{cases} \quad (2.3.33)$$

Lipp

Lähteandmed:

$$m_f = 0,5 \text{ kg/m}^2$$

$$h = 1,05 \text{ m}$$

$$l = 1,65 \text{ m}$$

$$z_e = 20,3 \text{ m}$$

Tuule baaskiirus arvutatud valemiga 2.3.21:

$$v_b = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 21 = 21 \text{ m/s}$$

Keskmine baaskiirusrõhk valemist 2.3.20:

$$q_b = \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 21^2 = 0,276 \text{ kN/m}^2$$

Arvutuslik pindala vastavalt valemile 2.3.19:

$$A_{ref} = 1,05 \cdot 1,65 = 1,73 \text{ m}^2$$

Ekspositsioonitegur sõltuvalt kõrgusest maapinnast ning maastikutüübist:

$$c_e(z_e) = 2,2$$

Tippkiirusrõhk arvutatud valemiga 2.3.18:

$$q_p(z_e) = 2,2 \cdot 0,276 = 0,607 \text{ kN/m}^2$$

Lipu jõutegur vastavalt valemile 2.3.17:

$$c_f = 0,02 + 0,7 \cdot \frac{0,5}{1,25 \cdot 1,05} \cdot \left(\frac{1,73}{1,05^2} \right)^{-1,25} = 0,172$$

Lipu tuulekoormus arvutatud valemiga 2.3.16:

$$F_w = 1,0 \cdot 0,172 \cdot 0,607 \cdot 1,73 = 0,181 \text{ kN}$$

Lipuvarda tuulekoormus

Lähteandmed:

$$h = 6 \text{ m}$$

$$d_1 = 120 \text{ mm}$$

$$d_2 = 100 \text{ mm}$$

$$b = 100 \text{ mm}$$

$$z_e = 20,3 \text{ m}$$

$$z_0 = 0,3 \text{ m}$$

$$z_{0,II} = 0,05 \text{ m}$$

$$k = 0,05 \text{ mm}$$

Tuule baaskiirus arvutatud valemiga 2.3.21:

$$v_b = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 21 = 21 \text{ m/s}$$

Keskmine baaskiirusrõhk valemist 2.3.20:

$$q_b = \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 21^2 = 0,276 \text{ kN/m}^2$$

Arvutuslik pindala vastavalt valemile 2.3.28:

$$A_{ref} = 0,1 \cdot 1,0 = 0,1 \text{ m}^2$$

Ekspositsioonitegur sõltuvalt kõrgusest maapinnast ning maastikutüübist:

$$c_e(z_e) = 2,2$$

Tippkiirusrõhk arvutatud valemiga 2.3.18:

$$q_p(z_e) = 2,2 \cdot 0,276 = 0,607 \text{ kN/m}^2$$

Kareduse väärtus:

$$\frac{k}{b} = \frac{0,05}{100} = 0,0005 = 5 \cdot 10^{-4}$$

Maastikutüübitegur arvutatud valemiga 2.3.26:

$$k_r = 0,19 \cdot \left(\frac{0,3}{0,05}\right)^{0,07} = 0,215$$

Karedustegur arvutatud valemiga 2.3.25:

$$c_r(z) = 0,215 \cdot \ln\left(\frac{0,3}{0,05}\right) = 0,908$$

Keskmine tuulekiirus arvutatud valemiga 2.3.24:

$$v_m = 0,908 \cdot 1,0 \cdot 21 = 19,068 \text{ m/s}$$

Reynoldsi arvu leidmine valemiga 2.3.23:

$$R_e = \frac{0,1 \cdot 19,068}{15 \cdot 10^{-6}} = 127120 = 1,27 \cdot 10^5$$

Välisrõhutegur ilma otsa mõjuta vastavalt standardile:

$$c_{f,0} = 1,2$$

Ringsilindri efektiivsaledus vastavalt valemile 2.3.27

$$\min \begin{cases} \lambda = 6,0/0,1 = 60 \\ \lambda = 70 \end{cases}$$

$$\lambda = 60$$

Täitetegur ühe varda korral:

$$\varphi = 1,0$$

Otsa mõju tegur vastavalt standardile:

$$\psi_\lambda = 0,9$$

Lipuvarda jõutegur vastavalt valemile 2.3.22:

$$c_f = 1,2 \cdot 0,9 = 1,08$$

Lipuvarda tuulekoormus arvatud valemiga 2.3.16:

$$F_w = 1,0 \cdot 1,08 \cdot 0,607 \cdot 0,1 = 0,0656 \text{ kN/m}$$

Katuse tuulekoormus

Lähteandmed:

$$z_{min} = 5 \text{ m}$$

$$z_0 = 0,3 \text{ m}$$

$$z_{0,II} = 0,05 \text{ m}$$

$$z = 14,6 \text{ m}$$

$$k_I = 1,0$$

Maastikutüübitegur arvatud valemiga 2.3.26:

$$k_r = 0,19 \cdot \left(\frac{0,3}{0,05}\right)^{0,07} = 0,215$$

Karedustegur arvatud valemiga 2.3.25:

$$c_r(z) = 0,215 \cdot \ln\left(\frac{14,6}{0,3}\right) = 0,835$$

Keskmine tuulekiirus valemist 2.3.24:

$$v_m(z) = 0,835 \cdot 1,0 \cdot 21 = 17,5 \text{ m/s}$$

Turbulentsi standardhälve valemist 2.3.32:

$$\sigma_v = 0,215 \cdot 21 \cdot 1,0 = 4,25 \text{ m/s}$$

Turbulentsi intensiivsus arvatud valemiga 2.3.31:

$$I_v(z) = \frac{4,25}{17,5} = 0,258$$

Tippkiirusrõhk arvutatud valemiga 2.3.30:

$$q_p(z) = (1 + 7 \cdot 0,258) \cdot \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 17,5^2 = 537 \text{ N/m}^2 = 0,537 \text{ kN/m}^2$$

Katusele mõjuv tuulerõhk arvutatud valemiga 2.3.29:

Lamekatuse

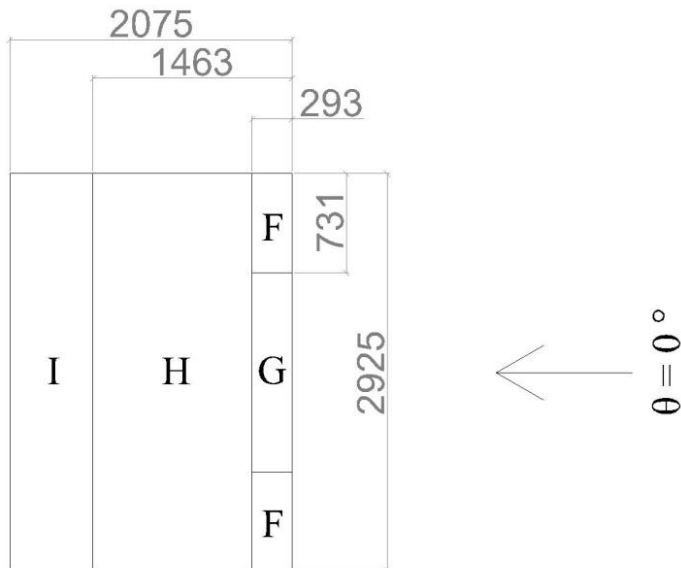
Tsoon	F		G		H		I	
	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$
	-1,8	-2,5	-1,2	-2,0	-0,7	-1,2	±0,2	
w_e (kN/m ²)	-0,967		-0,644		-0,376		±0,107	

Tabel 3.2.1 Lamekatusele mõjuv tuulerõhk

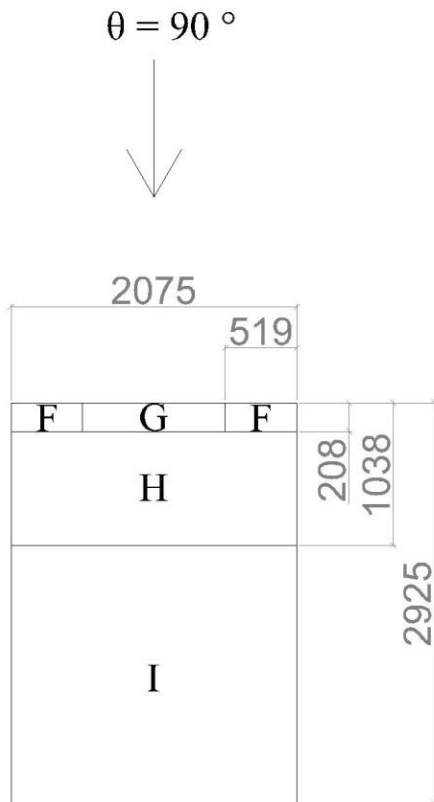
Tuule mõjualade tegurid vastavalt valemile 2.3.33:

$$e_{0^\circ} = 2925 \text{ mm}$$

$$e_{90^\circ} = 2075 \text{ mm}$$



Joonis 3.2.1 Lamekatuse tsoonid $\theta = 0^\circ$



Joonis 3.2.2 Lamekatuse tsoonid $\theta = 90^\circ$

Kelpkatus

Tsoon	F	G	H	I	J	K	L		M	N
	$c_{pe,10}$ c_{pe1}	$c_{pe,10}$ c_{pe1}	$c_{pe,10}$ c_{pe1}	$c_{pe,10}$ c_{pe1}	$c_{pe,10}$ c_{pe1}	$c_{pe,10}$ c_{pe1}	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$ c_{pe1}	$c_{pe,10}$ c_{pe1}
60 °	+0,7	+0,7	+0,7	-0,3	-0,6	-0,3	-1,2	-2,0	-0,4	-0,2
65 °	+0,733	0,733	+0,733	-0,3	-0,6	-0,3	-1,2	-2,0	-0,4	-0,2
70 °	+0,8	+0,8	+0,8	-0,3	-0,6	-0,3	-1,2	-2,0	-0,4	-0,2

Tabel 3.2.2 Kelpkatuse tuulerõhuteguri interpoleerimine

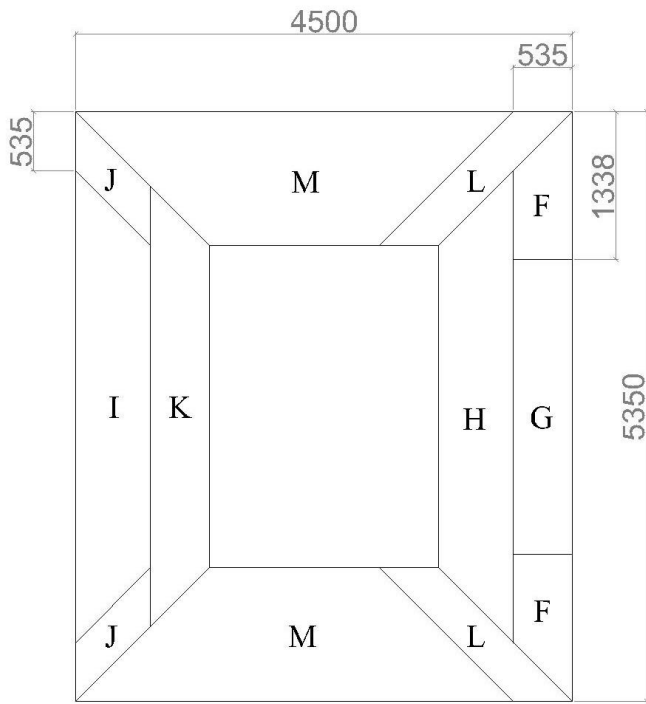
Tsoon	F	G	H	I	J	K	L	M	N
$c_{pe,10}$	+0,733	0,733	+0,733	-0,3	-0,6	-0,3	-1,2	-0,4	-0,2
w_e (kN/m ²)	+0,394	+0,394	+0,394	-0,161	-0,322	-0,161	-0,644	-0,215	-0,107

Tabel 3.2.3 Kelpkatusele mõjuv tuulerõhk

Tuule mõjualade tegurid vastavalt valemile 2.3.33:

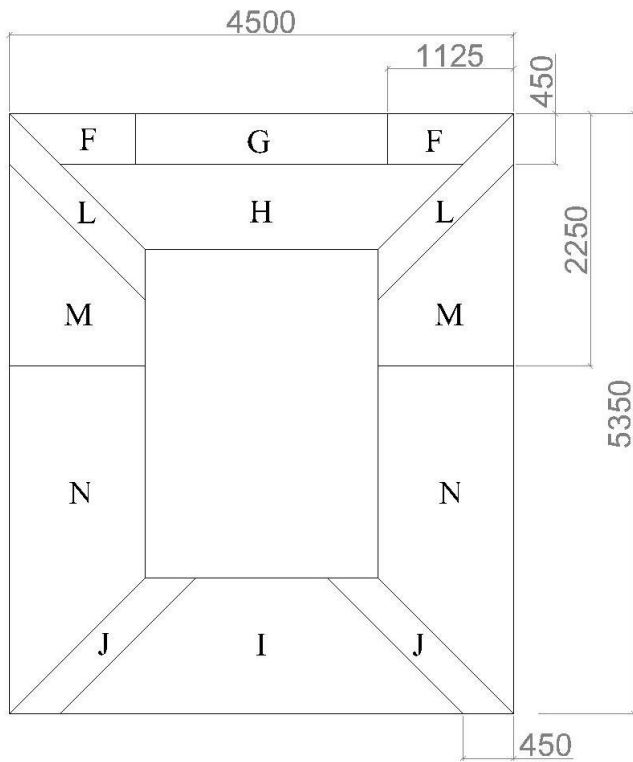
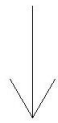
$$e_{0^\circ} = 5350 \text{ mm}$$

$$e_{90^\circ} = 4500 \text{ mm}$$



Joonis 3.2.3 Kelpkatuse tsoonid $\theta = 0^\circ$

$\theta = 90^\circ$



Joonis 3.2.4 Kelpkatuse tsoonid $\theta = 90^\circ$

2.4. Koormuskombinatsioonid

Koormuskombinatsioonide üldvalemid vastavad standardile EVS-EN 1990:2002 + NA [10].

Kandepiirseisundi alaliste ja ajutiste arvutusolukordade koormuskombinatsioonide valem:

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i} \quad (2.4.1)$$

Kasutuspiirseisundi normatiivsete koormuskombinatsioonide valem:

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i} \quad (2.4.2)$$

Koormuskombinatsioon 1:

Omakaal + üldhälbed + mittedomineeriv kasuskoormus + domineeriv lumi $\theta = 0^\circ$ + mittedomineeriv tuul $\theta = 0^\circ$

Koormuskombinatsioon 2:

Omakaal + üldhälbed + mittedomineeriv kasuskoormus + mittedomineeriv lumi $\theta = 0^\circ$ + domineeriv tuul $\theta = 0^\circ$

Koormuskombinatsioon 3:

Omakaal + üldhälbed + mittedomineeriv kasuskoormus + domineeriv lumi $\theta = 0^\circ$

Koormuskombinatsioon 4:

Omakaal + üldhälbed + domineeriv kasuskoormus + mittedomineeriv lumi $\theta = 0^\circ$

Koormuskombinatsioon 5:

Omakaal + üldhälbed + domineeriv kasuskoormus + mittedomineeriv lumi $\theta = 0^\circ$ + mittedomineeriv tuul $\theta = 0^\circ$

Koormuskombinatsioon 6:

Omakaal + üldhälbed + mittedomineeriv kasuskoormus + domineeriv lumi $\theta = 90^\circ$ + mittedomineeriv tuul $\theta = 90^\circ$

Koormuskombinatsioon 7:

Omakaal + üldhälbed + mittedomineeriv kaskukoormus + mittedomineeriv lumi $\theta = 90^\circ$ + domineeriv tuul $\theta = 90^\circ$

2.5. Deformeerunud kuju mõju konstruktsioonile

Raami deformeerunud kuju mõju sisejõududele on arvatud vastavalt standardile EVS-EN 1993-1-1:2005 + NA [14] ja raamatule „Teraskonstruktsioonide arvutus Eurokoodeks 3 järgi“ [16].

Tegur, millega arvutuskoormust korrutades saadakse varraskonstruktsiooni elastsusteooria kohane üldstabiilsuse kaotus, on määratav valemiga:

$$\alpha_{cr} = \left(\frac{H_{Ed}}{V_{Ed}} \right) \cdot \left(\frac{h}{\delta_{H,Ed}} \right) \quad (2.5.1)$$

Sealjuures peab katusekalle olema 1:2.

Tingsaledus raami tasapinnas on arvatav valemiga:

$$\bar{\lambda} = \frac{L}{\pi \cdot i} \cdot \sqrt{\frac{f_y}{E}} \quad (2.5.2)$$

Leitud tingsaledus peab vastama tingimusele:

$$\bar{\lambda} < 0,3 \cdot \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{Ed}}} \quad (2.5.3)$$

Elastsusmoodul:

$$E = 210 \cdot 10^3 \text{ N/mm}^2$$

Teist järku mõjureid arvestav tegur määratakse valemiga:

$$k_\alpha = \frac{1}{1 - \frac{1}{\alpha_{cr}}} \quad (2.5.4)$$

Korrigeeritud paindemomendi leidmise valem:

$$M_{Ed,1} = k_{\alpha} \cdot M_{Ed} \quad (2.5.5)$$

Lähteandmed arvutusteks:

$$h = 2700 \text{ mm}$$

$$L = 2925 \text{ mm}$$

$$f_y = 355 \text{ N/mm}^2$$

$$A = 13,35 \text{ cm}^2$$

$$i = 3,48 \text{ cm}$$

$$\mu = 1 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} = 28,5 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = 54,1 \text{ kN}$$

$$\delta_{\mu,Ed} = 5,3 \text{ mm}$$

Tingsaledus on leitud valemiga 2.5.2:

$$\bar{\lambda} = \frac{2925}{\pi \cdot 34,8} \cdot \sqrt{\frac{355}{210 \cdot 10^3}} = 1,100$$

Tingimus 2.5.3:

$$\bar{\lambda} = 1,100 < 0,3 \cdot \sqrt{\frac{1335 \cdot 355}{28500}} = 1,223$$

Tingimus on täidetud.

Teguri α_{cr} arvutus valemiga 2.5.1:

$$\alpha_{cr} = \left(\frac{1}{54,1}\right) \cdot \left(\frac{2700}{5,3}\right) = 9,417$$

Antud juhul kasutatakse ühikkoormus $\mu = 1 \text{ kN}$ ning sellele vastavat siiret.

Kuna $\alpha_{cr} < 10$, siis on vaja arvestada deformeerunud kuju mõju.

Teist järku mõjureid arvestav tegur vastavalt valemile 2.5.4:

$$k_{\alpha} = \frac{1}{1 - \frac{1}{9,417}} = 1,119$$

2.6. Ristlõike dimensioneerimine

Ristlõike dimensioneerimisel ja ristlõike klassi leidmisel lähtutakse standardist EVS-EN 1993-1-1:2005 + NA [14] ja raamatust „Teraskonstruksioonide arvutus Eurokoodeks 3 järgi“ [16].

Dimensioneeritakse kaldposti ja ülemise tala ristlõige. Alumise tala ristlõige valitakse vastavalt kasutuspiiriseisundi läbipaindele.

Ristlõike dimensioneerimisel avaldatakse elastne vastupanumoment paindemomendi leidmise valemist:

$$M_{y,Ed} = \frac{W_{el} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \rightarrow W_{el} = \frac{M_{y,Ed} \cdot \gamma_{M0}}{f_y} \quad (2.6.1)$$

Terase tugevusklassi arvestav tegur:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} \quad (2.6.2)$$

Painutatud elemendi tingimus ristlõikeklassis 1:

$$\frac{c}{t} \leq 72 \cdot \varepsilon \quad (2.6.3)$$

Surutud elemendi tingimus ristlõikeklassis 1:

$$\frac{c}{t} \leq 33 \cdot \varepsilon \quad (2.6.4)$$

Arvutuslik ristlõike kõrgus on määratav valemiga:

$$c = h - 2 \cdot (t + r) \quad (2.6.3)$$

Esialgu on ristlõikeks valitud toruprofiil 100 x 100 x 4 mm.

Lähteandmed ristlõikeklassi määramiseks:

$$h = 100 \text{ mm}$$

$$b = 100 \text{ mm}$$

$$t = 4 \text{ mm}$$

$$r = 8 \text{ mm}$$

$$f_y = 355 \text{ N/mm}^2$$

Arvutuslik ristlõike kõrgus valemist 2.6.5:

$$c = 100 - 2 \cdot (4 + 8) = 76 \text{ mm}$$

Terase tugevusklassi arvestav tegur valemist 2.6.2:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,814$$

Painutatud elemendi ristlõikeklass tingimusest 2.6.3:

$$\frac{76}{4} \leq 72 \cdot 0,814 \rightarrow 19 < 58,6$$

Tingimus on täidetud, seega painutatud elemendi ristlõikeklass on 1.

Surutud elemendi ristlõikeklass tingimusest 2.6.4:

$$\frac{76}{4} \leq 33 \cdot 0,814 \rightarrow 19 < 26,9$$

Tingimus on täidetud, seega surutud elemendi ristlõikeklass on 1.

Lähteandmed dimensioneerimiseks:

$$M_{Ed} = 5,4 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$f_y = 355 \text{ N/mm}^2$$

$$\gamma_{M0} = 1,0$$

Korrigeeritud arvutuslik paindemoment arvutatud valemiga 2.5.5:

$$M_{Ed,1} = k_\alpha \cdot M_{Ed} = 1,119 \cdot 5,4 = 6,0 \text{ kN}$$

Elastne vastupanumoment on arvutatud valemiga 2.6.1:

$$W_{el} = \frac{6,0 \cdot 1,0}{355000} = 1,690 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3 = 16,90 \text{ cm}^3$$

Tagavara kasuks valitakse ristlõige 90 x 90 x 4 mm, mille elastne vastupanumoment $W_{el} = 35,98 \text{ cm}^3$.

2.7. Alumise tala tugevuskontrollid

2.7.1. Valitud profiil

Alumise tala profiiliks on valitud S 355 terasest ruutristlõikega toru 120 x 120 x 4 mm.

Ristlõike tehnilised näitajad on järgmised:

$$f_y = 355 \text{ N/mm}^2$$

$$h = 120 \text{ mm}$$

$$b = 120 \text{ mm}$$

$$t = 4 \text{ mm}$$

$$r = 8 \text{ mm}$$

$$G = 14,3 \text{ kg/m}$$

$$A = 18,15 \text{ cm}^2$$

$$I = 402,3 \text{ cm}^4$$

$$W_{el} = 67,05 \text{ cm}^3$$

$$i = 4,71 \text{ cm}$$

Arvutuslik ristlõike kõrgus valemist 2.6.5:

$$c = 120 - 2 \cdot (4 + 8) = 96 \text{ mm}$$

Terase tugevusklassi arvestav tegur valemist 2.6.2:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,814$$

Painutatud elemendi ristlõikeklass tingimusest 2.6.3:

$$\frac{96}{4} \leq 72 \cdot 0,814 \rightarrow 24 < 58,6$$

Tingimus on täidetud, seega painutatud elemendi ristlõikeklass on 1.

Surutud elemendi ristlõikeklass tingimusest 2.6.4:

$$\frac{96}{4} \leq 33 \cdot 0,814 \rightarrow 24 < 26,9$$

Tingimus on täidetud, seega surutud elemendi ristlõikeklass on 1.

2.7.2. Painutatud varda ristlõike kandevõime

Painutatud varda ristlõike kandevõime arvutamisel lähtutakse standardist EVS-EN 1993-1-1:2005 + NA [14] ja raamatust „Teraskonstruksioonide arvutus Eurokoodeks 3 järgi“ [16].

Painutatud varda kandevõime on tagatud, kui on täidetud järgnev tingimus:

$$M_{Ed} \leq M_{c,Rd} \quad (2.7.1)$$

Arvutuslik paindekandevõime on määratav valemiga:

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{el} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \quad (2.7.2)$$

Lähteandmed arvutuseks:

$$M_{Ed} = 16,7 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$f_y = 355 \text{ N/mm}^2$$

$$\gamma_{M0} = 1,0$$

$$W_{el} = 67,05 \text{ cm}^3$$

Arvutuslik paindekandevõime on arvatud valemiga 2.7.2:

$$M_{c,Rd} = \frac{67,05 \cdot 10^3 \cdot 355}{1,0} = 23802750 \text{ N} \cdot \text{mm} = 23,8 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Tingimus 2.7.1:

$$M_{Ed} = 16,7 \text{ kN} \cdot \text{m} < M_{c,Rd} = 23,8 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Paindekandevõime on tagatud.

2.7.3. Ristlõike põikjõukandevõime

Ristlõike põikjõukandevõime arvutamisel lähtutakse standardist EVS-EN 1993-1-1:2005 + NA [14] ja raamatust „Teraskonstruksioonide arvutus Eurokoodeks 3 järgi“ [16].

Ristlõike põikjõukandevõime on tagatud, kui on täidetud tingimus:

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

Arvutuslik põikjõukandevõime on määratav valemiga:

$$V_{c,Rd} = \frac{A_v \cdot (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}} \quad (2.7.2)$$

Nelikanttoru ristlõike lõikepindala on arvutatav valemiga:

$$A_v = \frac{A \cdot h}{b + h} \quad (2.7.3)$$

Lähteandmed:

$$V_{Ed} = 27,8 \text{ kN}$$

$$f_y = 355 \text{ N/mm}^2$$

$$\gamma_{M0} = 1,0$$

$$A = 18,15 \text{ cm}^2$$

$$h = 120 \text{ mm}$$

$$b = 120 \text{ mm}$$

Ristlõike lõikepindala arvutatud valemiga 2.7.5:

$$A_v = \frac{1815 \cdot 120}{120 + 120} = 907,5 \text{ mm}^2$$

Arvutuslik põikjõukandevõime arvutatud valemiga 2.7.4:

$$V_{c,Rd} = \frac{907,5 \cdot (355 / \sqrt{3})}{1,0} = 186000 \text{ N} = 186,0 \text{ kN}$$

Tingimus 2.7.3:

$$V_{Ed} = 27,8 \text{ kN} < V_{c,Rd} = 186,0 \text{ kN}$$

Põikjõukandevõime tingimus on täidetud.

2.7.4. Tõmmatud elemendi pikijõukandevõime

Ristlõike pikijõukandevõime arvutamisel lähtutakse standardist EVS-EN 1993-1-1:2005 + NA [14] ja raamatust „Teraskonstruktsioonide arvutus Eurokoodeks 3 järgi“ [16].

Pikijõukandevõime on tagatud, kui on täidetud tingimus:

$$N_{Ed} \leq N_{t,Rd} \quad (2.7.6)$$

Arvutuslik pikijõukandevõime on määratav valemiga:

$$N_{el,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \quad (2.7.7)$$

Lähteandmed arvutuseks:

$$N_{Ed} = 11,0 \text{ kN}$$

$$f_y = 355 \text{ N/mm}^2$$

$$\gamma_{M0} = 1,0$$

$$A = 18,15 \text{ cm}^2$$

Arvutuslik pikijõukandevõime valemist 2.7.7:

$$N_{el,Rd} = \frac{1815 \cdot 355}{1,0} = 644325 \text{ N} = 644,3 \text{ kN}$$

Tingimus 2.7.6:

$$N_{Ed} = 11,0 \text{ kN} < N_{el,Rd} = 644,3 \text{ kN}$$

Pigijõukandevõime on tagatud.

2.7.5. Paindemomendi ja põikjõu koosmõju

Paindemomendi ja põikjõu koosmõju määramisel lähtutakse standardist EVS-EN 1993-1-1:2005 + NA [14] ja raamatust „Teraskonstruksioonide arvutus Eurokoodeks 3 järgi“ [16].

Kui põikjõud on väiksem kui pool põikjõukandevõimet, siis võib selle mõju paindekandevõimele jätta arvestamata.

Paindemomendi ja põikjõu koosmõju tingimus:

$$V_{Ed} < 0,5 \cdot V_{c,Rd} \quad (2.7.8)$$

Tingimus 2.7.8:

$$V_{Ed} = 27,8 \text{ kN} < 0,5 \cdot 186,0 = 93,0 \text{ kN}$$

Tingimus on täidetud.

2.7.6. Paindemomendi ja pikijõu koosmõju

Paindemomendi ja pikijõu koosmõju määramisel lähtutakse standardist EVS-EN 1993-1-1:2005 + NA [14] ja raamatust „Teraskonstruktsioonide arvutus Eurokoodeks 3 järgi“ [16].

Paindemomendi ja pikijõu koosmõju tingimus:

$$M_{Ed} \leq M_{N,Rd} \quad (2.7.9)$$

Arvutuslik paindekandevõime määratakse valemiga:

$$M_{N,Rd} = M_{el,Rd} \cdot \frac{1 - n}{1 - 0,5 \cdot a_{w,f}} \leq M_{el,Rd} \quad (2.7.10)$$

Toruprofiili ristlõiget arvestav tegur on arvutatav valemiga:

$$a_{w,f} = \frac{A - 2 \cdot b \cdot t}{A} \leq 0,5 \quad (2.7.11)$$

Pikijõu mõju arvestav tegur on määratav valemiga:

$$n = \frac{N_{Ed}}{N_{el,Rd}} \quad (2.7.12)$$

Lähteandmed:

$$t = 4 \text{ mm}$$

$$b = 120 \text{ mm}$$

$$A = 18,15 \text{ cm}^2$$

$$M_{Ed} = 16,7 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$N_{Ed} = 11,0 \text{ kN}$$

$$M_{el,Rd} = 23,8 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$N_{el,Rd} = 644,3 \text{ kN}$$

Pikijõu mõju arvestav tegur vastavalt valemile 2.7.12:

$$n = \frac{11,0}{644,3} = 0,017$$

Ristlõiget arvestav tegur valemist 2.7.11:

$$a_{w,f} = \frac{1815 - 2 \cdot 120 \cdot 4}{1815} = 0,471 < 0,5$$

Arvutuslik paindekandevõime valemist 2.7.10:

$$M_{N,Rd} = 23,8 \cdot \frac{1 - 0,017}{1 - 0,5 \cdot 0,471} = 30,6 \text{ kN} \cdot \text{m} \leq 23,8 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Tingimus ei ole täidetud, seega $M_{N,Rd} = 23,8 \text{ kN} \cdot \text{m}$.

Tingimus 2.7.9:

$$M_{Ed} = 16,7 \text{ kN} \cdot \text{m} < M_{N,Rd} = 23,8 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Kandevõime paindemomendi ja pikijõu koosmõjul on täidetud.

2.8. Kaldposti tugevuskontrollid

2.8.1. Valitud profiil

Kaldposti profiiliks on valitud S 355 terasest ruutristlõikega toru 90 x 90 x 4 mm.

Ristlõike tehnilised näitajad on järgmised:

$$f_y = 355 \text{ N/mm}^2$$

$$h = 90 \text{ mm}$$

$$b = 90 \text{ mm}$$

$$t = 4 \text{ mm}$$

$$r = 8 \text{ mm}$$

$$G = 10,5 \text{ kg/m}$$

$$A = 13,35 \text{ cm}^2$$

$$I = 161,9 \text{ cm}^4$$

$$W_{el} = 35,98 \text{ cm}^3$$

$$i = 3,48 \text{ cm}$$

Arvutuslik ristlõike kõrgus valemist 2.6.5:

$$c = 90 - 2 \cdot (4 + 8) = 66 \text{ mm}$$

Terase tugevusklassi arvestav tegur valemist 2.6.2:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,814$$

Painutatud elemendi ristlõikeklass tingimusest 2.6.3:

$$\frac{66}{4} \leq 72 \cdot 0,814 \rightarrow 16,5 < 58,6$$

Tingimus on täidetud, seega painutatud elemendi ristlõikeklass on 1.

Surutud elemendi ristlõikeklass tingimusest 2.6.4:

$$\frac{66}{4} \leq 33 \cdot 0,814 \rightarrow 16,5 < 26,9$$

Tingimus on täidetud, seega surutud elemendi ristlõikeklass on 1.

2.8.2. Surutud varda nõtkepikkus

Varda nõtkepikkuse arvutamisel lähtutakse standardist EVS-EN 1993-1-1:2005 + NA [14] ja raamatust „Teraskonstruksioonide arvutus Eurokoodeks 3 järgi“ [16].

Raami posti nõtkepikkuse valem:

$$L_{cr} = \mu \cdot L \tag{2.8.1}$$

Siirduvate sõlmedega raami posti nõtkepikkuse kordaja valem:

$$\mu = \sqrt{\frac{1 - 0,2 \cdot (\eta_1 + \eta_2) - 0,12 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2}{1 - 0,8 \cdot (\eta_1 + \eta_2) + 0,6 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2}} \tag{2.8.2}$$

Jaotusfaktori η_1 arvutamise valem:

$$\eta_1 = \frac{K_c + K_1}{K_c + K_1 + K_{11} + K_{12}} \tag{2.8.3}$$

Jaotusfaktori η_2 arvutamise valem:

$$\eta_2 = \frac{K_c + K_2}{K_c + K_2 + K_{21} + K_{22}} \quad (2.8.4)$$

Suhtelise jäikuse arvutamise valem:

$$K_c = \frac{I}{L} \quad (2.8.5)$$

Riivtalade suhtelise jäikuse valem, kui vastassõlme pööre on samasuunaline ja sama suur kui vaadeldaval sõlmel:

$$K_{ij} = 1,5 \cdot \frac{I}{L} \quad (2.8.6)$$

Riivtalade suhtelise jäikuse valem, kui vastassõlmes on liigend:

$$K_{ij} = 0,75 \cdot \frac{I}{L} \quad (2.8.7)$$

Riivtalade suhtelise jäikuse valem, kui vastassõlme pööre on vastassuunaline ja sama suur kui vaadeldaval sõlmel:

$$K_{ij} = 0,5 \cdot \frac{I}{L} \quad (2.8.8)$$

Lähteandmed arvutusteks:

$$I = 161,9 \text{ cm}^4$$

$$L = 3115 \text{ mm}$$

Suhteline jäikus valemist 2.8.5:

$$K_c = \frac{161,9 \cdot 10^4}{3115} = 519,7$$

Üleval asuva posti suhteline jäikus:

$$K_1 = 0$$

Üleval ei ole posti.

Vasakpoolse ülemise riivtala suhteline jäikus:

$$K_{11} = 0$$

Vasakul ei ole riivtala.

Parempoolse riivtala suhteline jäikus valemiga 2.8.6:

$$K_{12} = 1,5 \cdot \frac{161,9 \cdot 10^4}{3115} = 779,6$$

All asuva posti suhteline jäikus:

$$K_2 = 0$$

All ei ole posti.

Vasakpoolse alumise riivtala suhteline jäikus valemiga 2.8.7:

$$K_{21} = 0,75 \cdot \frac{161,9 \cdot 10^4}{3115} = 389,8$$

Parempoolse alumise riivtala suhteline jäikus valemiga 2.8.8:

$$K_{22} = 0,5 \cdot \frac{161,9 \cdot 10^4}{3115} = 259,9$$

Jaotusfaktor arvatud valemiga 2.8.3:

$$\eta_1 = \frac{519,7 + 0}{519,7 + 0 + 0 + 779,6} = 0,400$$

Jaotusfaktor arvatud valemiga 2.8.4:

$$\eta_2 = \frac{519,7 + 0}{519,7 + 0 + 389,8 + 259,9} = 0,444$$

Nõtkepikkuse kordaja arvatud valemiga 2.8.2:

$$\mu = \sqrt{\frac{1 - 0,2 \cdot (0,400 + 0,444) - 0,12 \cdot 0,400 \cdot 0,444}{1 - 0,8 \cdot (0,400 + 0,444) + 0,6 \cdot 0,400 \cdot 0,444}} = 1,370$$

Nõtkepikkus vastavalt valemile 2.8.1:

$$L_{cr} = 1,370 \cdot 3115 = 4268 \text{ mm}$$

2.8.3. Painutatud varda ristlõike kandevõime

Painutatud varda ristlõike kandevõime arutamisel lähtutakse standardist EVS-EN 1993-1-1:2005 + NA [14] ja raamatust „Teraskonstruktsioonide arvutus Eurokoodeks 3 järgi“ [16].

Painutatud varda kandevõime on tagatud, kui on täidetud järgnev tingimus:

$$M_{Ed} \leq M_{c,Rd} \quad (2.8.9)$$

Arvutuslik paindekandevõime on määratav valemiga:

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{el} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \quad (2.8.10)$$

Kahes sihis mõjuva paindemomendi tingimus:

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rd}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rd}} \leq 1 \quad (2.8.11)$$

Lähteandmed arvutuseks:

$$f_y = 355 \text{ N/mm}^2$$

$$\gamma_{M0} = 1,0$$

$$W_{el} = 35,98 \text{ cm}^3$$

$$M_{z,Ed} = 2,3 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{y,Ed} = 4,0 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Korrigeeritud arvutuslikud paindemomendid arvutatud valemiga 2.5.5:

$$M_{y,Ed,1} = k_\alpha \cdot M_{y,Ed} = 1,119 \cdot 4,0 = 4,5 \text{ kN}$$

$$M_{z,Ed,1} = k_\alpha \cdot M_{z,Ed} = 1,119 \cdot 2,3 = 2,6 \text{ kN}$$

Arvutuslik paindekandevõime on arvutatud valemiga 2.8.10:

$$M_{c,Rd} = \frac{35,98 \cdot 10^3 \cdot 355}{1,0} = 12772900 \text{ N} \cdot \text{mm} = 12,7 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Tingimus 2.8.9:

$$M_{y,Ed,1} = 4,5 \text{ kN} \cdot \text{m} < M_{c,Rd} = 12,7 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{z,Ed,1} = 2,6 \text{ kN} \cdot \text{m} < M_{c,Rd} = 12,7 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Tingimus on täidetud.

Kahes sihis mõjuva paindemomendi tingimus 2.8.11:

$$\frac{4,5}{12,7} + \frac{2,6}{12,7} = 0,559 < 1$$

Paindekandevõime on tagatud.

2.8.4. Tsentriliselt surutud varda ristlõike kandevõime

Tsentriliselt surutud varda ristlõike kandevõime arvutamisel lähtutakse standardist EVS-EN 1993-1-1:2005 + NA [14] ja raamatust „Teraskonstruktsioonide arvutus Eurokoodeks 3 järgi“ [16].

Pikijõukandevõime on tagatud, kui on täidetud tingimus:

$$N_{Ed} \leq N_{c,Rd} \quad (2.8.12)$$

Arvutuslik pikijõukandevõime on määratav valemiga:

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \quad (2.8.13)$$

Lähteandmed:

$$N_{Ed} = 28,5 \text{ kN}$$

$$f_y = 355 \text{ N/mm}^2$$

$$\gamma_{M0} = 1,0$$

$$A = 13,35 \text{ cm}^2$$

Arvutuslik põikjõukandevõime valemist 2.8.13:

$$N_{c,Rd} = \frac{1335 \cdot 355}{1,0} = 473925 \text{ N} = 473,9 \text{ kN}$$

Tingimus 2.8.12:

$$N_{Ed} = 28,5 \text{ kN} < N_{c,Rd} = 473,9 \text{ kN}$$

Pikijõukandevõime on tagatud.

2.8.5. Ristlõike põikjõukandevõime

Ristlõike põikjõukandevõime arvutamisel lähtutakse standardist EVS-EN 1993-1-1:2005 + NA [14] ja raamatust „Teraskonstruksioonide arvutus Eurokoodeks 3 järgi“ [16].

Põikjõukandevõime on tagatud, kui on täidetud tingimus:

$$V_{Ed} \leq V_{c,Rd} \quad (2.8.14)$$

Arvutusliku põikjõukandevõime valem:

$$V_{c,Rd} = \frac{A_v \cdot (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}} \quad (2.8.15)$$

Nelikanttoru ristlõike lõikepindala on arvutatav valemiga:

$$A_v = \frac{A \cdot h}{b + h} \quad (2.8.16)$$

Lähteandmed:

$$V_{Ed} = 3,4 \text{ kN}$$

$$f_y = 355 \text{ N/mm}^2$$

$$\gamma_{M0} = 1,0$$

$$A = 13,35 \text{ cm}^2$$

$$h = 90 \text{ mm}$$

$$b = 90 \text{ mm}$$

Ristlõike lõikepindala arvutamine valemiga 2.8.16:

$$A_v = \frac{1335 \cdot 90}{90 + 90} = 667,5 \text{ mm}^2$$

Arvutusliku põikjõukandevõime määramine valemiga 2.8.15:

$$V_{c,Rd} = \frac{667,5 \cdot (355 / \sqrt{3})}{1,0} = 136810 \text{ N} = 136,8 \text{ kN}$$

Tingimus 2.8.14:

$$V_{Ed} = 3,4 \text{ kN} < V_{c,Rd} = 136,8 \text{ kN}$$

Põikjõukandevõime on tagatud.

2.8.6. Paindemomendi ja põikjõu koosmõju

Paindemomendi ja põikjõu koosmõju määramisel lähtutakse standardist EVS-EN 1993-1-1:2005 + NA [14] ja raamatust „Teraskonstruktsioonide arvutus Eurokoodeks 3 järgi“ [16].

Kui põikjõud on väiksem kui pool põikjõukandevõimet, siis võib selle mõju paindekandevõimele jätta arvestamata.

Paindemomendi ja põikjõu koosmõju tingimus:

$$V_{Ed} < 0,5 \cdot V_{c,Rd} \quad (2.8.17)$$

Tingimus 2.8.17:

$$V_{Ed} = 3,4 \text{ kN} < 0,5 \cdot 136,8 = 68,4 \text{ kN}$$

Tingimus on täidetud.

2.8.7. Paindemomendi ja pikijõu koosmõju

Paindemomendi ja pikijõu koosmõju määramisel lähtutakse standardist EVS-EN 1993-1-1:2005 + NA [14] ja raamatust „Teraskonstruktsioonide arvutus Eurokoodeks 3 järgi“ [16].

Paindemomendi ja pikijõu koosmõju tingimus:

$$M_{Ed} \leq M_{N,Rd} \quad (2.8.18)$$

Arvutuslik paindekandevõime määratakse valemiga:

$$M_{N,Rd} = M_{el,Rd} \cdot \frac{1 - n}{1 - 0,5 \cdot a_{w,f}} \leq M_{el,Rd} \quad (2.8.19)$$

Toruprofiili ristlõiget arvestav tegur on arvutatav valemiga:

$$a_{w,f} = \frac{A - 2 \cdot b \cdot t}{A} \leq 0,5 \quad (2.8.20)$$

Pikijõu mõju arvestav tegur on määratav valemiga:

$$n = \frac{N_{Ed}}{N_{el,Rd}} \quad (2.8.21)$$

Kahes sihis mõjuva paindemomendi tingimus:

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{N,Rd}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{N,Rd}} \leq 1 \quad (2.8.22)$$

Lähteandmed:

$$t = 4 \text{ mm}$$

$$b = 90 \text{ mm}$$

$$A = 13,35 \text{ cm}^2$$

$$N_{Ed} = 28,5 \text{ kN}$$

$$M_{z,Ed} = 2,3 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{y,Ed} = 4,0 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$N_{el,Rd} = 473,9 \text{ kN}$$

$$M_{el,Rd} = 12,7 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Korrigeeritud arvutuslik paindemoment vastavalt valemile 2.5.5:

$$M_{y,Ed,1} = k_\alpha \cdot M_{y,Ed} = 1,119 \cdot 4,0 = 4,5 \text{ kN}$$

$$M_{z,Ed,1} = k_\alpha \cdot M_{z,Ed} = 1,119 \cdot 2,3 = 2,6 \text{ kN}$$

Pikijõu mõju arvestav tegur vastavalt valemile 2.8.21:

$$n = \frac{28,5}{473,9} = 0,060$$

Ristlõiget arvestav tegur valemist 2.8.20:

$$a_{w,f} = \frac{1335 - 2 \cdot 90 \cdot 4}{1335} = 0,461 < 0,5$$

Arvutuslik paindekandevõime valemist 2.8.19:

$$M_{N,Rd} = 12,7 \cdot \frac{1 - 0,060}{1 - 0,5 \cdot 0,461} = 15,5 \text{ kN} \cdot \text{m} > 12,7 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Tingimus ei ole täidetud, seega $M_{N,Rd} = 12,7 \text{ kN} \cdot \text{m}$.

Tingimus 2.8.18:

$$M_{y,Ed,1} = 4,5 \text{ kN} \cdot \text{m} < M_{N,Rd} = 12,7 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{z,Ed,1} = 2,6 \text{ kN} \cdot \text{m} < M_{N,Rd} = 12,7 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Tingimus on täidetud.

Kahes sihis mõjuva paindemomendi tingimus 2.8.22:

$$\frac{4,5}{12,7} + \frac{2,6}{12,7} = 0,559 < 1$$

Kandevõime paindemomendi ja pikijõu koosmõjul on mõlemas sihis täidetud.

2.9. Ülemise tala tugevuskontrollid

2.9.1. Valitud profiil

Alumise tala profiiliks on valitud S 355 terasest ruutristlõikega toru 90 x 90 x 4 mm.

Ristlõike tehnilised näitajad on järgmised:

$$f_y = 355 \text{ N/mm}^2$$

$$h = 90 \text{ mm}$$

$$b = 90 \text{ mm}$$

$$t = 4 \text{ mm}$$

$$r = 8 \text{ mm}$$

$$G = 10,5 \text{ kg/m}$$

$$A = 13,35 \text{ cm}^2$$

$$I = 161,95 \text{ cm}^4$$

$$W_{el} = 35,98 \text{ cm}^3$$

$$i = 3,48 \text{ cm}$$

Arvutuslik ristlõike kõrgus valemist 2.6.5:

$$c = 90 - 2 \cdot (4 + 8) = 66 \text{ mm}$$

Terase tugevusklassi arvestav tegur valemist 2.6.2:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,814$$

Painutatud elemendi ristlõikeklass tingimusest 2.6.3:

$$\frac{66}{4} \leq 72 \cdot 0,814 \rightarrow 16,5 < 58,6$$

Tingimus on täidetud, seega painutatud elemendi ristlõikeklass on 1.

Surutud elemendi ristlõikeklass tingimusest 2.6.4:

$$\frac{66}{4} \leq 33 \cdot 0,814 \rightarrow 16,5 < 26,9$$

Tingimus on täidetud, seega surutud elemendi ristlõikeklass on 1.

2.9.2. Painutatud varda ristlõike kandevõime

Painutatud varda ristlõike kandevõime arvutamisel lähtutakse standardist EVS-EN 1993-1-1:2005 + NA [14] ja raamatust „Teraskonstruktsioonide arvutus Eurokoodeks 3 järgi“ [16].

Painutatud varda kandevõime on tagatud, kui on täidetud järgnev tingimus:

$$M_{Ed} \leq M_{c,Rd} \quad (2.9.1)$$

Arvutuslik paindekandevõime on määratav valemiga:

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{el} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \quad (2.9.2)$$

Lähteandmed arvutuseks:

$$M_{Ed} = 5,3 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$f_y = 355 \text{ N/mm}^2$$

$$\gamma_{M0} = 1,0$$

$$W_{el} = 35,98 \text{ cm}^3$$

Korrigeeritud arvutuslik paindemoment vastavalt valemile 2.5.5:

$$M_{Ed,1} = k_\alpha \cdot M_{Ed} = 1,119 \cdot 5,3 = 5,9 \text{ kN}$$

Arvutuslik paindekandevõime on arvutatud valemiga 2.9.2:

$$M_{c,Rd} = \frac{35,98 \cdot 10^3 \cdot 355}{1,0} = 12772900 \text{ N} \cdot \text{mm} = 12,7 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Tingimus 2.9.1:

$$M_{Ed} = 5,9 \text{ kN} \cdot \text{m} < M_{c,Rd} = 12,7 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Paindekandevõime on tagatud.

2.9.3. Ristlõike põikjõukandevõime

Ristlõike põikjõukandevõime arvutamisel lähtutakse standardist EVS-EN 1993-1-1:2005 + NA [14] ja raamatust „Teraskonstruktsioonide arvutus Eurokoodeks 3 järgi“ [16].

Ristlõike põikjõukandevõime on tagatud, kui on täidetud tingimus:

$$V_{Ed} \leq V_{c,Rd} \quad (2.9.3)$$

Arvutuslik põikjõukandevõime on määratav valemiga:

$$V_{c,Rd} = \frac{A_v \cdot (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}} \quad (2.9.4)$$

Nelikanttoru ristlõike lõikepindala on arvutatav valemiga:

$$A_v = \frac{A \cdot h}{b + h} \quad (2.9.5)$$

Lähteandmed:

$$V_{Ed} = 9,4 \text{ kN}$$

$$f_y = 355 \text{ N/mm}^2$$

$$\gamma_{M0} = 1,0$$

$$A = 13,35 \text{ cm}^2$$

$$h = 90 \text{ mm}$$

$$b = 90 \text{ mm}$$

Ristlõike lõikepindala arvutatud valemiga 2.9.5:

$$A_v = \frac{1335 \cdot 90}{90 + 90} = 667,5 \text{ mm}^2$$

Arvutuslik põikjõukandevõime arvutatud valemiga 2.9.4:

$$V_{c,Rd} = \frac{667,5 \cdot (355/\sqrt{3})}{1,0} = 136810 \text{ N} = 136,8 \text{ kN}$$

Tingimus 2.9.3:

$$V_{Ed} = 9,4 \text{ kN} < V_{c,Rd} = 136,8 \text{ kN}$$

Põikjõukandevõime tingimus on täidetud.

2.9.4. Tõmmatud elemendi pikijõukandevõime

Ristlõike pikijõukandevõime arvutamisel lähtutakse standardist EVS-EN 1993-1-1:2005 + NA [14] ja raamatust „Teraskonstruksioonide arvutus Eurokoodeks 3 järgi“ [16].

Pikijõukandevõime on tagatud, kui on täidetud tingimus:

$$N_{Ed} \leq N_{t,Rd} \tag{2.9.6}$$

Arvutuslik pikijõukandevõime on määratav valemiga:

$$N_{el,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \tag{2.9.7}$$

Lähteandmed arvutuseks:

$$N_{Ed} = 11,9 \text{ kN}$$

$$f_y = 355 \text{ N/mm}^2$$

$$\gamma_{M0} = 1,0$$

$$A = 13,35 \text{ cm}^2$$

Arvutuslik pikijõukandevõime valemist 2.9.7:

$$N_{el,Rd} = \frac{1335 \cdot 355}{1,0} = 473925 \text{ N} = 473,9 \text{ kN}$$

Tingimus 2.9.6:

$$N_{Ed} = 11,9 \text{ kN} < N_{el,Rd} = 473,9 \text{ kN}$$

Pikijõukandevõime on tagatud.

2.9.5. Paindemomendi ja põikjõu koosmõju

Paindemomendi ja põikjõu koosmõju määramisel lähtutakse standardist EVS-EN 1993-1-1:2005 + NA [14] ja raamatust „Teraskonstruktsioonide arvutus Eurokoodeks 3 järgi“ [16].

Kui põikjõud on väiksem kui pool põikjõukandevõimet, siis võib selle mõju paindekandevõimele jätta arvestamata.

Paindemomendi ja põikjõu koosmõju tingimus:

$$V_{Ed} < 0,5 \cdot V_{c,Rd} \quad (2.9.8)$$

Tingimus 2.9.8:

$$V_{Ed} = 9,4 \text{ kN} < 0,5 \cdot 136,8 = 68,4 \text{ kN}$$

Tingimus on täidetud.

2.9.6. Paindemomendi ja pikijõu koosmõju

Paindemomendi ja pikijõu koosmõju määramisel lähtutakse standardist EVS-EN 1993-1-1:2005 + NA [14] ja raamatust „Teraskonstruktsioonide arvutus Eurokoodeks 3 järgi“ [16].

Paindemomendi ja pikijõu koosmõju tingimus:

$$M_{Ed} \leq M_{N,Rd} \quad (2.9.9)$$

Arvutuslik paindekandevõime määratakse valemiga:

$$M_{N,Rd} = M_{el,Rd} \cdot \frac{1 - n}{1 - 0,5 \cdot a_{w,f}} \leq M_{el,Rd} \quad (2.9.10)$$

Toruprofiili ristlõiget arvestav tegur on arvutatav valemiga:

$$a_{w,f} = \frac{A - 2 \cdot b \cdot t}{A} \leq 0,5 \quad (2.9.11)$$

Pikijõu mõju arvestav tegur on määratav valemiga:

$$n = \frac{N_{Ed}}{N_{el,Rd}} \quad (2.9.12)$$

Lähteandmed:

$$t = 4 \text{ mm}$$

$$b = 90 \text{ mm}$$

$$A = 13,35 \text{ cm}^2$$

$$M_{Ed} = 5,3 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$N_{Ed} = 11,9 \text{ kN}$$

$$M_{el,Rd} = 12,7 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$N_{el,Rd} = 473,9 \text{ kN}$$

Korrigeeritud arvutuslik paindemoment vastavalt valemile 2.5.5:

$$M_{Ed,1} = k_\alpha \cdot M_{Ed} = 1,119 \cdot 5,3 = 5,9 \text{ kN}$$

Pikijõu mõju arvestav tegur vastavalt valemile 2.9.12:

$$n = \frac{11,9}{473,9} = 0,025$$

Ristlõiget arvestav tegur valemist 2.9.11:

$$a_{w,f} = \frac{1335 - 2 \cdot 90 \cdot 4}{1335} = 0,461 < 0,5$$

Arvutuslik paindekandevõime valemist 2.9.10:

$$M_{N,Rd} = 12,7 \cdot \frac{1 - 0,025}{1 - 0,5 \cdot 0,461} = 16,1 \text{ kN} \cdot \text{m} \leq 12,7 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Tingimus ei ole täidetud, seega $M_{N,Rd} = 12,7 \text{ kN} \cdot \text{m}$.

Tingimus 2.9.9:

$$M_{Ed} = 5,9 \text{ kN} \cdot \text{m} < M_{N,Rd} = 12,7 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Kandevõime paindemomendi ja pikijõu koosmõjul on täidetud.

2.10. Keevisliite tugevuskontroll

Keevisliite tugevuse kontrollimisel lähtutakse standardist EVS-EN 1993-1-1:2005 + NA [14] ja raamatust „Teraskonstruktsioonide arvutus Eurokoodeks 3 järgi“ [16].

Konstruksioonis peab olematagatud järgnev tingimus:

$$F_{Ed} \leq F_{Rd} \quad (2.10.1)$$

Arvutuslik keevise kandevõime arvutatakse valemiga:

$$F_{Rd} = F_{w,Rd} \cdot \sum l_w \quad (2.10.2)$$

Arvutuslik keevise kandevõime ühikpikkusele arvutatakse valemiga:

$$F_{w,Rd} = f_{vw,d} \cdot a \quad (2.10.3)$$

Keevise arvutuslik nihketugevus arvutatakse valemiga:

$$f_{vw,d} = \frac{f_u / \sqrt{3}}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} \quad (2.10.4)$$

Keevisõmbluse arvutuslik pikkuse valem:

$$l_w = l - 2 \cdot a \quad (2.10.5)$$

Sealjuures peab olema täidetud tingimus:

$$l_w \geq \max \left\{ \begin{array}{l} 30 \text{ mm} \\ 6 \cdot a \end{array} \right. \quad (2.10.6)$$

Paindemomendist tingitud pikijõud keevises on arvutatav järgmise valemiga:

$$F_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{l_j} \quad (2.10.7)$$

Lähteandmed:

$$l = 90 \text{ mm}$$

$$l_j = 197 \text{ mm}$$

$$M_{Ed} = 3,8 \text{ kN}$$

$$a = 4 \text{ mm}$$

$$f_u = 510 \text{ N/mm}^2$$

$$\beta_w = 0,9$$

$$\gamma_{M2} = 1,25$$

Paindemomendist tingitud pikijõud keevises on arvatud valemiga 2.10.7:

$$F_{Ed} = \frac{3,8}{0,197} = 19,3 \text{ kN}$$

Keevisõmbuse arvutuslik pikkus on arvatud valemiga 2.10.5:

$$l_w = 90 - 2 \cdot 4 = 82 \text{ mm}$$

Tingimus 2.10.6:

$$l_w \geq \max \left\{ \begin{array}{l} 30 \text{ mm} \\ 6 \cdot 4 = 24 \text{ mm} \end{array} \right.$$

$$l_w = 82 \text{ mm} > 30 \text{ mm}$$

Keevisõmbuse minimaalse pikkuse tingimus on täidetud.

Keevise arvutuslik nihketugevus arvatud valemiga 2.10.4:

$$f_{vw,d} = \frac{510/\sqrt{3}}{0,9 \cdot 1,25} = 261,7 \text{ N/mm}^2$$

Keevise kandevõime vastavalt valemile 2.10.3:

$$F_{w,Rd} = 261,7 \cdot 4 = 1046,8 \text{ N/mm}$$

Kogu keevisliite arvutuslik kandevõime vastavalt valemile 2.10.2:

$$F_{Rd} = 1046,8 \cdot 82 = 85837 \text{ N} = 85,8 \text{ kN}$$

Tingimus 2.10.1:

$$F_{Ed} = 19,3 \text{ kN} < F_{Rd} = 85,8 \text{ kN}$$

Keevise kandevõime on tagatud.

2.11. Stabiilsus

2.11.1. Tala seina nihkestabiilsus

Tala seina nihkestabiilsuse arvutamisel lähtutakse standardist EVS-EN 1993-1-1:2005 + NA [14] ja raamatust „Teraskonstruktsioonide arvutus Eurokoodeks 3 järgi“ [16].

Talaseina nihkestabiilsus on tagatud, kui on täidetud tingimus:

$$\frac{h_w}{t_w} \leq \frac{72}{\eta} \cdot \varepsilon \quad (2.11.1)$$

Faktor η väärtus:

$$\eta = 1,2$$

Tugevusklassi arvestav tegur on määratav valemiga:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} \quad (2.11.2)$$

Lähteandmed:

$$f_y = 355 \text{ N/mm}^2$$

$$h_w = 96 \text{ mm}$$

$$t_w = 4 \text{ mm}$$

Tugevusklassi arvestav tegur vastavalt valemile 2.11.2:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,814$$

Talaseina nihkestabiilsuse tingimus 2.11.1:

$$\frac{h_w}{t_w} = \frac{96}{4} = 24 \leq \frac{72}{\eta} \cdot \varepsilon = \frac{72}{1,2} \cdot 0,814 = 48,8$$

Seina nihkestabiilsuse tingimus on täidetud.

2.11.2. Kaldposti üldstabiilsus

Üldstabiilsuse kontrollimisel lähtutakse standardist EVS-EN 1993-1-1:2005 + NA [14] ja raamatust „Teraskonstruktsioonide arvutus Eurokoodeks 3 järgi“ [16].

Varda stabiisustingimused surve ja painde koosmõjul on järgnevad:

$$\frac{N_{Ed}}{X_y \cdot N_{Rd}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{X_{LT} \cdot M_{y,Rd}} + k_{yz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{M_{y,Rd}} \leq 1 \quad (2.11.3)$$

$$\frac{N_{Ed}}{X_z \cdot N_{Rd}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{X_{LT} \cdot M_{y,Rd}} + k_{zz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rd}} \leq 1 \quad (2.11.4)$$

Koosmõjutegur k_{yy} arvutatakse valemiga:

$$k_{yy} = C_{my} \cdot \left[1 + (\bar{\lambda} - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{X \cdot N_{Rd}} \right] \leq C_{my} \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{N_{Ed}}{X \cdot N_{Rd}} \right) \quad (2.11.5)$$

Koosmõjutegur k_{zy} nelikanttoru korral:

$$k_{zy} = 0,6 \cdot k_{yy} \quad (2.11.6)$$

Kiivetegur nelikanttorust varrastele:

$$X_{LT} = 1$$

Ekvivalentse paindemomendi tegurid siirduvate sõlmede korral:

$$C_{my} = 0,9$$

$$C_{mz} = 0,9$$

Arvutuslik paindekandevõime on määratav valemiga:

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{el} \cdot f_y}{\gamma_{M1}} \quad (2.11.7)$$

Arvutuslik pikijõukandevõime on määratav valemiga:

$$N_{Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} \quad (2.11.8)$$

Nõtketeguri arvutamise valem:

$$X = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}} \quad (2.11.9)$$

Abisuurus Φ arvutatakse valemiga:

$$\Phi = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2] \quad (2.11.10)$$

Varda tingsaledus arvutatakse valemiga:

$$\bar{\lambda} = \frac{L_{cr}}{\pi \cdot i} \cdot \sqrt{\frac{f_y}{E}} \quad (2.11.11)$$

Elastsusmoodul:

$$E = 210 \cdot 10^3 \text{ N/mm}^2$$

Nõtkekõverale vastav hälbetegur:

$$\alpha = 0,49$$

Lähteandmed:

$$L_{cr} = 4268 \text{ mm}$$

$$i = 3,48 \text{ cm}$$

$$f_y = 355 \text{ N/mm}^2$$

$$\gamma_{M1} = 1,0$$

$$A = 13,35 \text{ cm}^2$$

$$W_{el} = 35,98 \text{ cm}^3$$

$$N_{Ed} = 28,5 \text{ kN}$$

$$M_{z,Ed} = 2,3 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{y,Ed} = 4,0 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Korrigeeritud arvutuslik paindemoment arvutatud valemiga 2.5.5:

$$M_{y,Ed,1} = k_\alpha \cdot M_{y,Ed} = 1,119 \cdot 4,0 = 4,5 \text{ kN}$$

$$M_{z,Ed,1} = k_\alpha \cdot M_{z,Ed} = 1,119 \cdot 2,3 = 2,6 \text{ kN}$$

Varda tingsaledus arvutatud valemiga 2.11.11:

$$\bar{\lambda} = \frac{4268}{\pi \cdot 34,8} \cdot \sqrt{\frac{355}{210 \cdot 10^3}} = 1,605$$

Abisuurus Φ arvutatud valemiga 2.11.10:

$$\Phi = 0,5 \cdot [1 + 0,49 \cdot (1,605 - 0,2) + 1,605^2] = 2,132$$

Nõtketeguri arvutus valemiga 2.11.9:

$$X = \frac{1}{2,132 + \sqrt{2,132^2 - 1,605^2}} = 0,283$$

Arvutuslik survekandevõime vastavalt valemile 2.11.8:

$$N_{Rd} = \frac{1335 \cdot 355}{1,0} = 473925 \text{ N} = 473,9 \text{ kN}$$

Arvutuslik paindekandevõime vastavalt valemile 2.11.7:

$$M_{c,Rd} = \frac{35,98 \cdot 10^3 \cdot 355}{1,0} = 12772900 \text{ N} \cdot \text{mm} = 12,7 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Koosmõjutegur k_{yy} arvutatud valemiga 2.11.5:

$$k_{yy} = 0,9 \cdot \left[1 + (1,605 - 0,2) \cdot \frac{28,5}{0,283 \cdot 473,9} \right] \leq 0,9 \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{28,5}{0,283 \cdot 473,9} \right)$$

$$k_{yy} = 1,169 > 1,053$$

Tingimus ei ole täidetud, seega $k_{yy} = 1,053$.

Koosmõjutegur k_{zy} arvutatud valemiga 2.11.6:

$$k_{zy} = 0,6 \cdot 1,053 = 0,632$$

Koosmõjutegur k_{zz} arvutatud valemiga 2.11.5:

$$k_{zz} = 0,9 \cdot \left[1 + (1,605 - 0,2) \cdot \frac{28,5}{0,283 \cdot 473,9} \right] \leq 0,9 \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{28,5}{0,283 \cdot 473,9} \right)$$

$$k_{zz} = 1,169 > 1,053$$

Tingimus ei ole täidetud, seega $k_{zz} = 1,053$.

Koosmõjutegur k_{yz} arvutatud valemiga 2.11.6:

$$k_{yz} = 0,6 \cdot 1,053 = 0,632$$

Stabiilsuskontroll vastavalt valemitele 2.11.3 ja 2.11.4:

$$\frac{28,5}{0,283 \cdot 473,9} + 1,053 \cdot \frac{4,5}{1,0 \cdot 12,7} + 0,632 \cdot \frac{2,6}{12,7} = 0,715 < 1$$

$$\frac{28,5}{0,283 \cdot 473,9} + 0,632 \cdot \frac{4,5}{1,0 \cdot 12,7} + 1,053 \cdot \frac{2,6}{12,7} = 0,652 < 1$$

Tingimused on täidetud.

2.11.3. Ülemise tala üldstabiilsus

Üldstabiilsuse kontrollimisel lähtutakse standardist EVS-EN 1993-1-1:2005 + NA [14] ja raamatust „Teraskonstruktsioonide arvutus Eurokoodeks 3 järgi“ [16].

Varda stabiisustingimused surve ja painde koosmõjul on järgnevad:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rd}} \leq 1 \quad (2.11.12)$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rd}} \leq 1 \quad (2.11.13)$$

Koosmõjutegur k_{yy} arvutatakse valemiga:

$$k_{yy} = C_{my} \cdot \left[1 + (\bar{\lambda} - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{X \cdot N_{Rd}} \right] \leq C_{my} \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{N_{Ed}}{X \cdot N_{Rd}} \right) \quad (2.11.14)$$

Koosmõjutegur k_{zy} nelikanttoru korral:

$$k_{zy} = 0,6 \cdot k_{yy} \quad (2.11.15)$$

Ekvivalentse paindemomendi tegur siirduvate sõlmede korral:

$$C_{my} = 0,9$$

Arvutuslik paindekandevõime on määratav valemiga:

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{el} \cdot f_y}{\gamma_{M1}} \quad (2.11.16)$$

Arvutuslik pikijõukandevõime on määratav valemiga:

$$N_{Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} \quad (2.11.17)$$

Nõtketeguri arvutamise valem:

$$X = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}} \quad (2.11.18)$$

Abisuurus Φ arvutatakse valemiga:

$$\Phi = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2] \quad (2.11.19)$$

Varda tingsaledus arvutatakse valemiga:

$$\bar{\lambda} = \frac{L_{cr}}{\pi \cdot i} \cdot \sqrt{\frac{f_y}{E}} \quad (2.11.20)$$

Elastsusmoodul:

$$E = 210 \cdot 10^3 \text{ N/mm}^2$$

Nõtkekõverale vastav hälbetegur:

$$\alpha = 0,49$$

Lähteandmed:

$$L_{cr} = 2925 \text{ mm}$$

$$i = 3,48 \text{ cm}$$

$$f_y = 355 \text{ N/mm}^2$$

$$\gamma_{M1} = 1,0$$

$$A = 13,35 \text{ cm}^2$$

$$W_{el} = 35,98 \text{ cm}^3$$

$$N_{Ed} = 11,1 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} = 5,3 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Korrigeeritud arvutuslik paindemoment valemist 2.5.5:

$$M_{Ed,1} = k_\alpha \cdot M_{Ed} = 1,119 \cdot 5,3 = 5,9 \text{ kN}$$

Varda tingsaledus arvutatud valemiga 2.11.20:

$$\bar{\lambda} = \frac{2925}{\pi \cdot 34,8} \cdot \sqrt{\frac{355}{210 \cdot 10^3}} = 1,100$$

Abisuurus Φ arvatud valemiga 2.11.19:

$$\Phi = 0,5 \cdot [1 + 0,49 \cdot (1,100 - 0,2) + 1,100^2] = 1,326$$

Nõtketeguri arvutus valemiga 2.11.18:

$$X = \frac{1}{1,326 + \sqrt{1,326^2 - 1,100^2}} = 0,484$$

Arvutuslik survekandevõime vastavalt valemile 2.11.17:

$$N_{Rd} = \frac{1335 \cdot 355}{1,0} = 473925 \text{ N} = 473,9 \text{ kN}$$

Arvutuslik paindekandevõime vastavalt valemile 2.11.16:

$$M_{c,Rd} = \frac{35,98 \cdot 10^3 \cdot 355}{1,0} = 12772900 \text{ N} \cdot \text{mm} = 12,7 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Koosmõjutegur k_{yy} arvatud valemiga 2.11.14:

$$k_{yy} = 0,9 \cdot \left[1 + (1,100 - 0,2) \cdot \frac{11,1}{0,484 \cdot 473,9} \right] \leq 0,9 \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{11,1}{0,484 \cdot 473,9} \right)$$

$$k_{yy} = 0,939 > 0,935$$

Tingimus ei ole täidetud, seega $k_{yy} = 0,935$.

Koosmõjutegur k_{zy} arvatud valemiga 2.11.15:

$$k_{zy} = 0,6 \cdot 0,935 = 0,561$$

Stabiilsuskontroll vastavalt valemitele 2.11.12 ja 2.11.13:

$$\frac{11,1}{473,9} + 0,935 \cdot \frac{5,9}{12,7} = 0,458 \leq 1$$

$$\frac{11,1}{473,9} + 0,561 \cdot \frac{5,9}{12,7} = 0,284 \leq 1$$

Tingimused on täidetud.

2.12. Kasutuspiirseisundi läbipained

2.12.1. Alumise tala läbipaine kasutuspiirseisundis

Kasutuspiirseisundi läbipainde kontrollimisel lähtutakse standardist EVS-EN 1993-1-1:2005 + NA [14] ja raamatust „Teraskonstruktsioonide arvutus Eurokoodeks 3 järgi“ [16].

Läbipaine peab vastama järgmisele tingimusele:

$$\frac{L}{250} \geq w_{max} \quad (2.12.1)$$

Konstruktsiooni lõplik läbipaine arvutatakse valemiga:

$$w_{max} = w_1 + w_2 + w_3 - w_c \quad (2.12.2)$$

Käsitletaval konstruktsioonil puudub eeltõus w_c . Kuna tegemist on teraskonstruktsiooniga, siis ei arvestata pikaajalist alaliskoormuse mõju w_2 . Läbipained w_1 ja w_3 on vastavalt alalis- ja kasuskoormuse põhjustatud siirded.

Lähteandmed:

$$L = 6100 \text{ mm}$$

$$w_1 = 16,6 \text{ mm}$$

$$w_3 = 3,6 \text{ mm}$$

Maksimaalne läbipaine arvutatud valemiga 2.12.2:

$$w_{max} = 16,6 + 3,6 = 20,2 \text{ mm}$$

Maksimaalse lubatud läbipainde tingimus 2.12.1:

$$\frac{6100}{250} = 24,4 \text{ mm} > 20,2 \text{ mm}$$

Kasutuspiirseisundi läbipaine on lubatud piires.

2.12.2. Ülemise tala läbipaine kasutuspiirseisundis

Kasutuspiirseisundi läbipainde kontrollimisel lähtutakse standardist EVS-EN 1993-1-1:2005 + NA [14] ja raamatust „Teraskonstruktsioonide arvutus Eurokoodeks 3 järgi“ [16].

Läbipaine peab vastama järgmisele tingimusele:

$$\frac{L}{250} \geq w_{max} \quad (2.12.3)$$

Konstruksiooni lõplik läbipane arvutatakse valemiga:

$$w_{max} = w_1 + w_2 + w_3 - w_c \quad (2.12.4)$$

Käsitletaval konstruktsioonil puudub eeltõus w_c . Kuna tegemist on teraskonstruktsiooniga, siis ei arvestata pikaajalist alaliskoormuse mõju w_2 . Läbipained w_1 ja w_3 on vastavalt alalis- ja kasuskoormuse põhjustatud siirded.

Lähteandmed:

$$L = 2925 \text{ mm}$$

$$w_1 = 4,4 \text{ mm}$$

$$w_3 = 2,8 \text{ mm}$$

Maksimaalne läbipaine arvutatud valemiga 2.12.4:

$$w_{max} = 4,4 + 2,8 = 7,2 \text{ mm}$$

Maksimaalse lubatud läbipainde tingimus 2.12.3:

$$\frac{2925}{250} = 11,7 \text{ mm} > 7,2 \text{ mm}$$

Kasutuspiiriseisundi läbipaine on lubatud piires.

2.13. Korrosioonikaitse

Teraskonstruktsioon asub sisekeskkonnas – kütmata ruumis, kus võib tekkida kondensaat. Keskkonna saateklass on C2. Raami pind kaetakse akrüülvärviga, mille kruntvärvi 1-2 kihi paksus on 80 μm ja kattevärvi 1-2 kihi paksus on 80 μm . [15]

2.14. Tulemused

Alumisele talale osutus kõige ohtlikumaks olukorraks kasutuspiirseisundi läbipaine, mille järgi valiti tala ristlõikeks 120 x 120 x 4 mm. Ristlõike tugevustingimused kandepiirseisundis on samuti täidetud. Kaldposti ja ülemise tala ristlõike dimensioneerimisel osutus valituks 90 x 90 x 4 mm, määravaks said üldstabiilsuse arvutused. Vastava ristlõike tugevustingimused kandepiirseisundis on täidetud.

KOKKUVÕTE

Käesoleva magistritööga koostati korporatsioon Fraternitas Liviensise Tartu konvendihoone torni ümberehituse laiendatud arhitektuurne eelprojekt. Töö esimeses osas on esitatud eelprojekti seletuskiri ning teises osas on koostatud teraskonstruksiooni tugevusarvutused.

Hoone torni ümberehituse käigus asendatakse torni ülemise osa konstruktsioonid uutega ning muudetakse välisilmet. Veekahjustustega puitkonstruktsiooni asemel hakkab tornikiivrit kandma teraskonstruksioon, mis võimaldab väiksemate ristlõigete kasutamist. Kelpkatuse osa katab klaasfassaad. Välimise trepi kaudu pääseb käidavale lamekatusele, kus asetseb 6 m pikkune lipuvarras.

Kuna hoone on arhitektuurimälestisena kaitse all, siis on oluline silmas pidada ka muinsuskaitse eritingimusi. Torni kavandamisel on lähtunud ajaloolisest ilmest.

Konstruktiivses osas teostatud tugevusarvutustest selgus, et ülemise tala ja kaldposti ristlõikeks on sobiv 90 x 90 x 4 mm toruprofiil S 355 terasest. Alumine tala vajab kasutuspiiriseisundi läbipainde tõttu ristlõiget 120 x 120 x 4 mm, terase tugevusklass on samuti S 355. Vastavate ristlõigete tugevustingimused on täidetud.

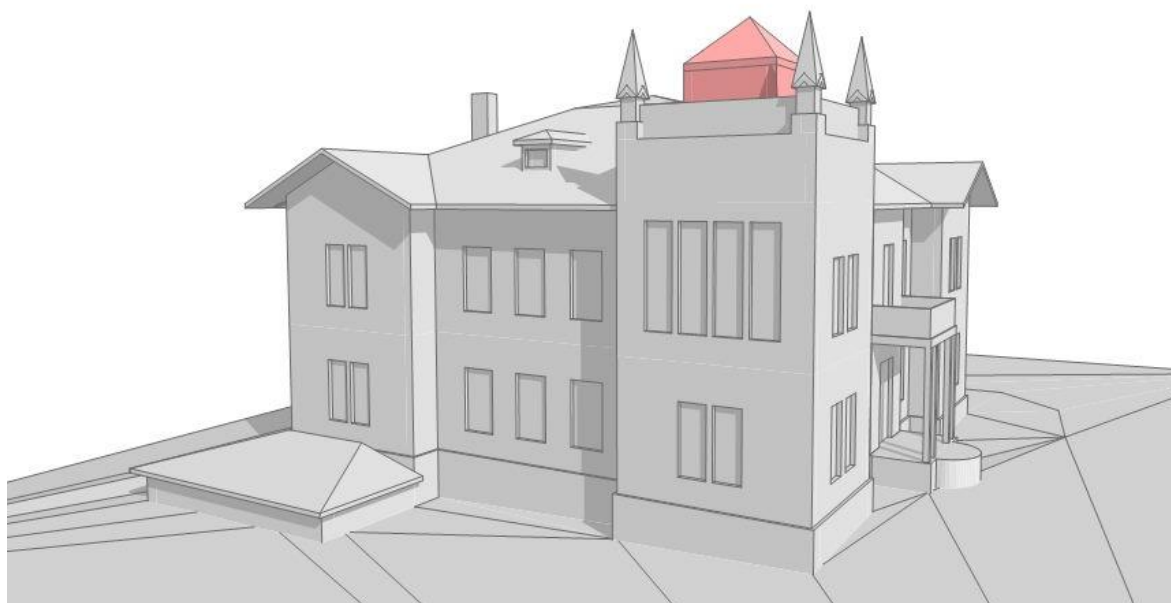
Käesolev töö omab praktilist väärtust korporatsiooni Fraternitas Liviensise torni ümberehitusel. Magistritöös teostatud arvutuste põhjal on plaanis koostada põhiprojekt. Fraternitas Liviensis soovib uue torniga tähistada 2018. aasta jaanuaris korporatsiooni 100. aastapäeva.

KASUTATUD KIRJANDUS

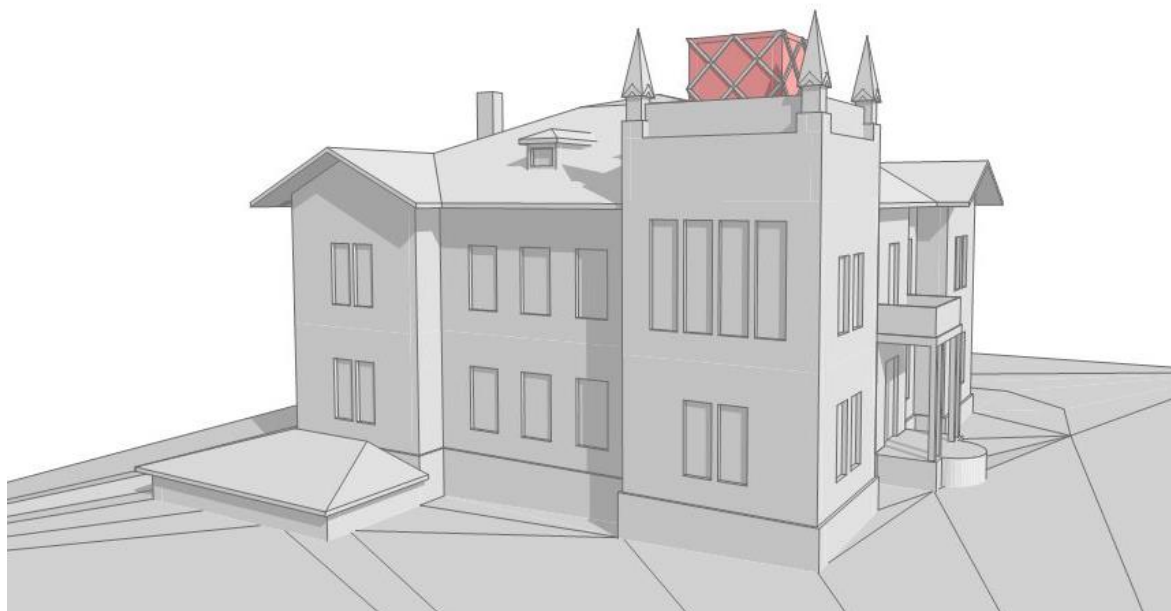
1. Eimre, M., Alttoa, K. Tartus, V. Kingissepa t. 68 asuva hoone ajalooline õiend ja restaureerimisetepanekud. Kultuurimälestiste Riiklik Projekteerimise Instituut, 1980.
2. Kepp, K., Soosalu, M. Tornu restaureerimisprojekt. 2012.
3. Geodeetiline alusplaan GEO 16-883. Geopartner OÜ, 2016.
4. Ehitusseadustik. (Vastu võetud 11.02.2015, jõustunud 01.07.2015). – Elektrooniline Riigi Teataja [WWW]
<https://www.riigiteataja.ee/akt/105032015001?leiaKehtiv> (16.05.2017)
5. Hoone ehitusprojekt: EVS 811:2012. Eesti Standardikeskus, 2012.
6. Tartu linna ehitusmäärus nr 7. (Vastu võetud 19.12.2013)
7. Ehitisele esitatavad tuleohutusnõuded nr 54. (Vastu võetud 02.06.2015)
8. Korporatsiooni maja, 104039476. [WWW]
<https://www.ehr.ee/> (17.03.2017)
9. Jakobi 52. [WWW]
<http://www.liviensis.ee/wb/pages/korporatsioon/konvendikorterid/tartus/jakobi-52.php> (16.03.2017)
10. Eurokoodeks. Ehituskonstruksioonide projekteerimise alused: EVS-EN 1990:2002 + NA. Eesti Standardikeskus, 2002.
11. Eurokoodeks 1. Ehituskonstruksioonide koormused. Osa 1-1: Üldkoormused. Mahukaalud, omakaalud, hoonete kasuskoormused: EVS-EN 1991-1-1:2002 + NA. Eesti Standardikeskus, 2002.
12. Eurokoodeks 1. Ehituskonstruksioonide koormused. Osa 1-3: Üldkoormused. Lumekoormus: EVS-EN 1991-1-3:2006 + NA. Eesti Standardikeskus, 2006.
13. Eurokoodeks 1. Ehituskonstruksioonide koormused. Osa 1-4: Üldkoormused. Tuulekoormus: EVS-EN 1991-1-4:2007 + NA. Eesti Standardikeskus, 2007.
14. Eurokoodeks 3. Teraskonstruksioonide projekteerimine. Osa 1-1: Üldreeglid ja reeglid hoonete projekteerimiseks: EVS-EN 1993-1-1:2005 + NA. Eesti Standardikeskus, 2005.
15. Ehituskonstruktorigi käsiraamat. / Toimetaja T. Masso. EHITAME kirjastus, 2014.
16. Loorits, K. Teraskonstruksioonide arvutus Eurokoodeks 3 järgi. Eesti Teraskonstruksiooniühing, 2008.

LISAD

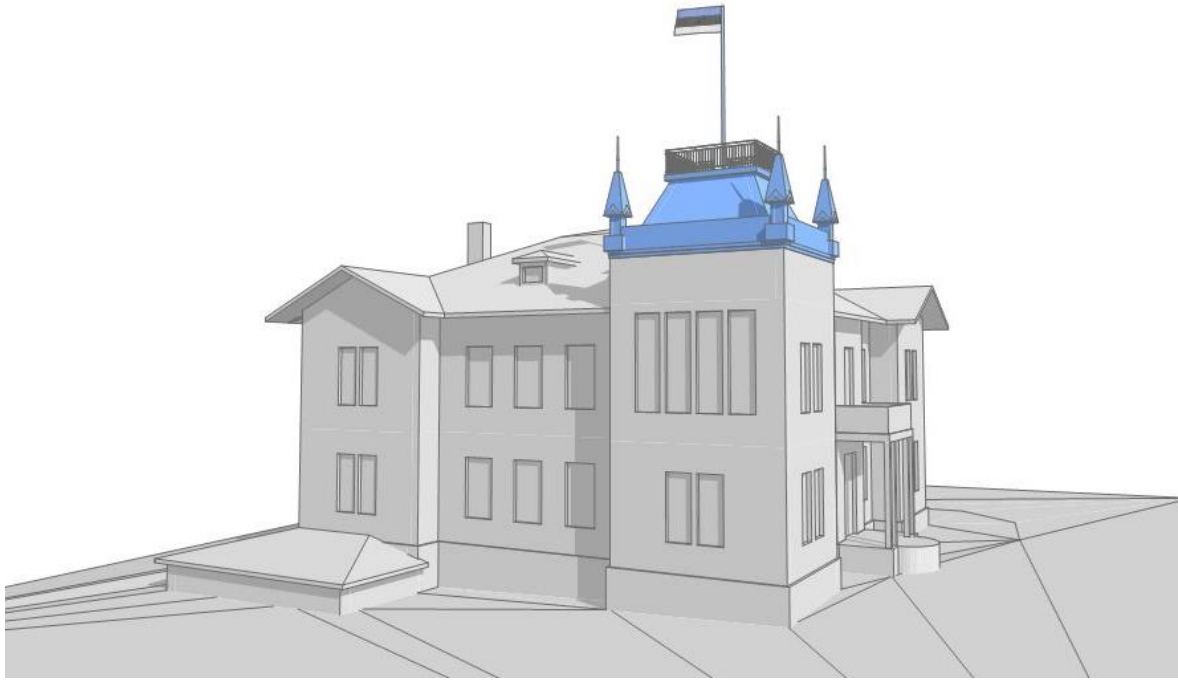
Lisa 1. Eskiislahendused



Joonis 1.1. Näide eskiislahendustest.



Joonis 1.2. Näide eskiislahendustest.



Joonis 1.3. Valituks osutund variandi eskiislahendus.

Lisa 2. Ajaloolised fotod



Foto 2.1. Tähtvere mägi Tartus, CRJM F TR II 612 F 601.



Foto 2.2. Laste Kunstikool Jakobi tänaval, EFA.333.0-154006.



Foto 2.3. Vaade Jakobi tänavale ja mäele, ERM Fk 2957:1569.



Foto 2.4. Jakobi 52 kujutatud vanal postkaardil, Korp! Fraternitas Liviensis.



Foto 2.5. Vaade Jakobi mäest üles ja Kroonuaia tänava ristumiskohale, EFA.197.4-6655.



Foto 2.6. Gustav Adolfi tänav, vaade Tähtvere pargi poolt, AM N 5635:35.

Lisa 3. Kaasaegsed fotod



Foto 3.1. Jakobi 52 lõunakülg, Kerly Kodasma.



Foto 3.2. Jakobi 52 idakülg, Kerly Kodasma.



Foto 3.3. Jakobi 52 läänekülg, Kerly Kodasma.



Foto 3.4. Jakobi 52 põhjakülg, Kerly Kodasma.

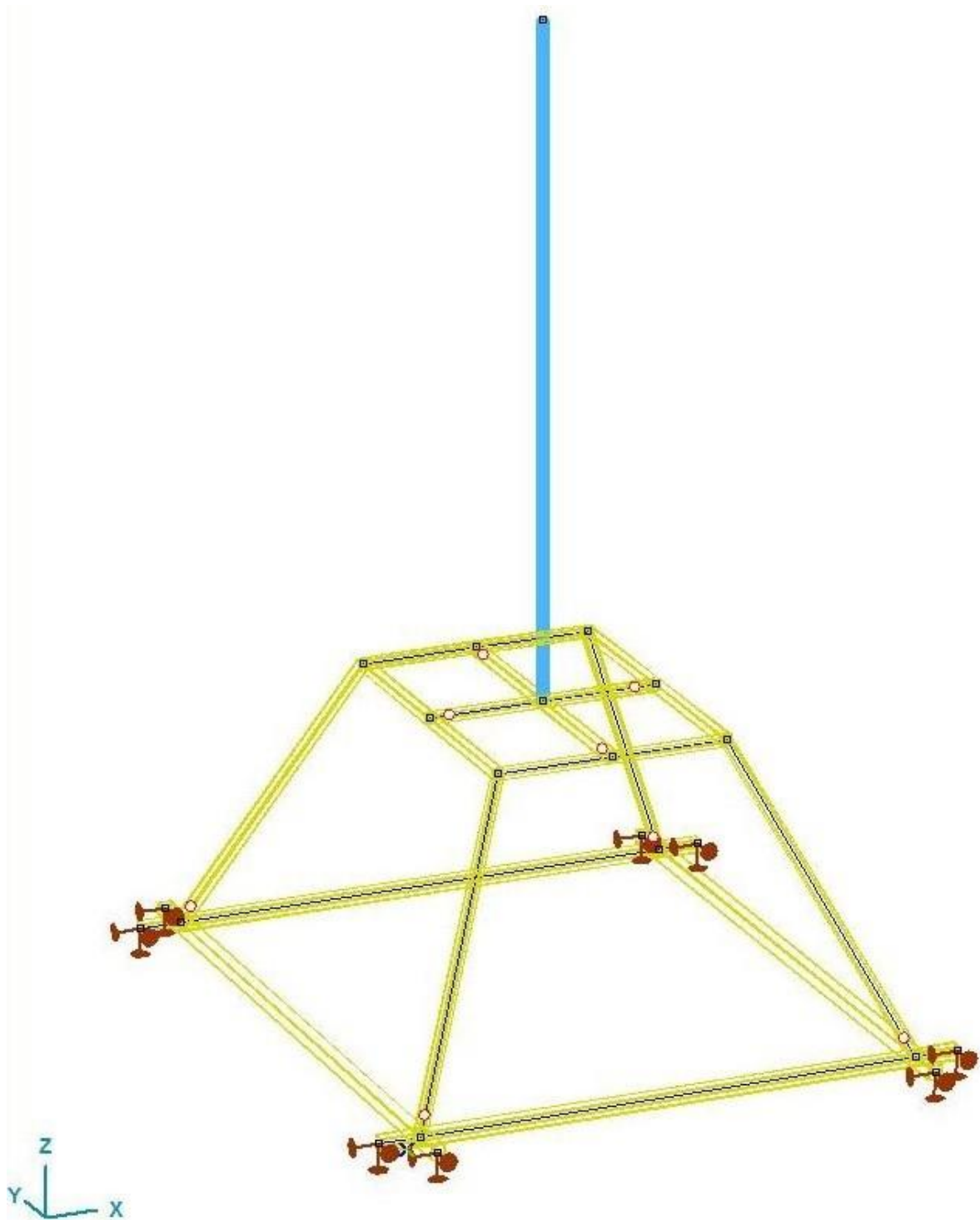


Foto 3.5. Jakobi 52 torn ja tänavaäärne müür, Kerly Kodasma.



Foto 3.6. Jakobi 52 värav ja munakivisillutis, Kerly Kodasma.

Lisa 4. Arvutusmudel



Joonis 4.1. Arvutusmudel

Lisa 5. Graafiline osa

1	Asendiplaan	M 1:500
2	Pööningu plaan	M 1:50
3	Katuseterrassi plaan	M 1:50
4	Lõige A-A	M 1:50
5	Vaade idast	M 1:100
6	Lammutatav osa	M 1:50
7	Torni vaade idast	M 1:50
8	Torni vaade lõunast	M 1:50
9	Torni vaade läänest	M 1:50
10	Torni vaade põhjast	M 1:50
11	Nurgatorn	M 1:25
12	Terasraam	M 1:50

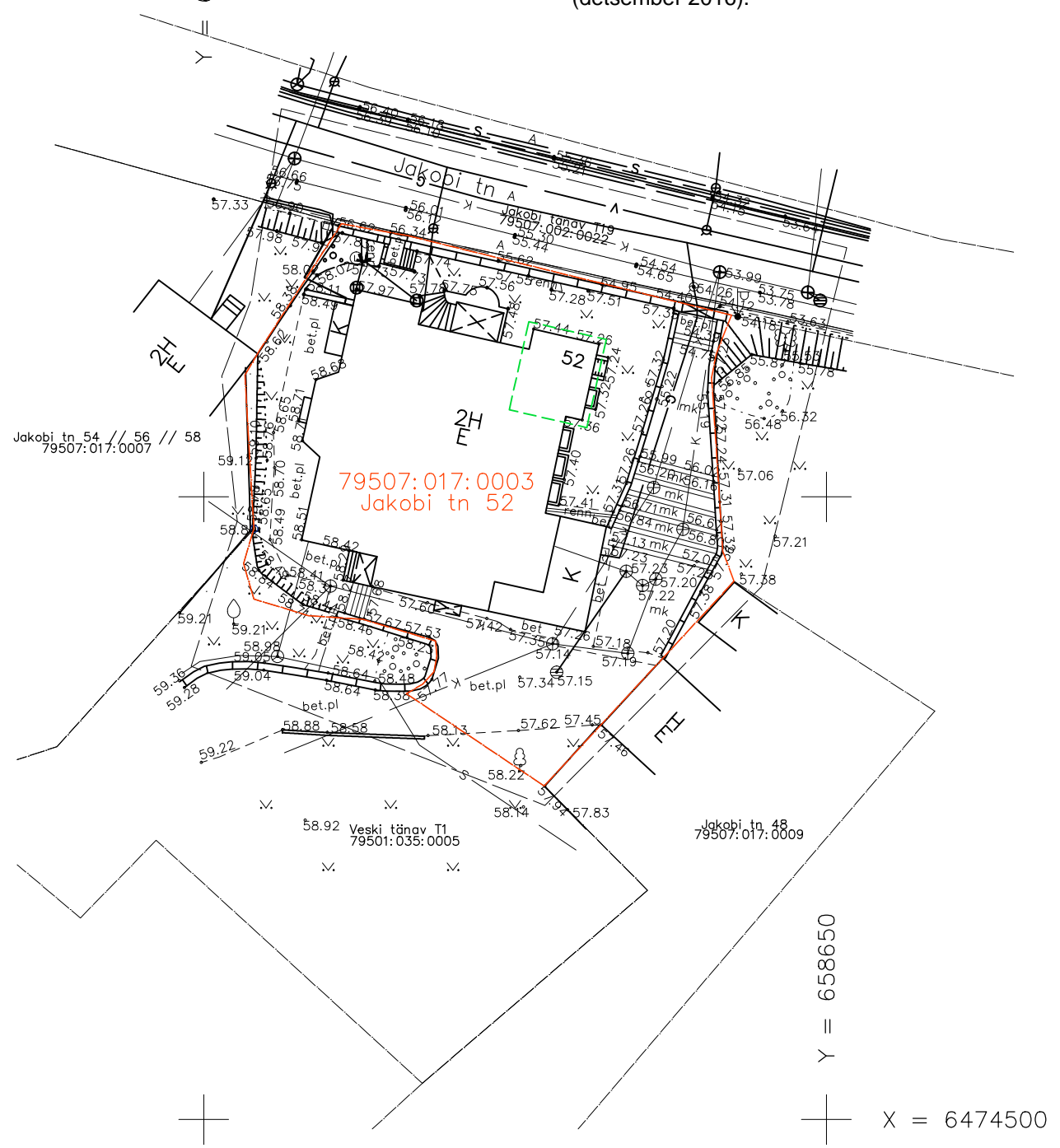


X = 6474600

Y = 658600

- projektis käsitletav hoone osa

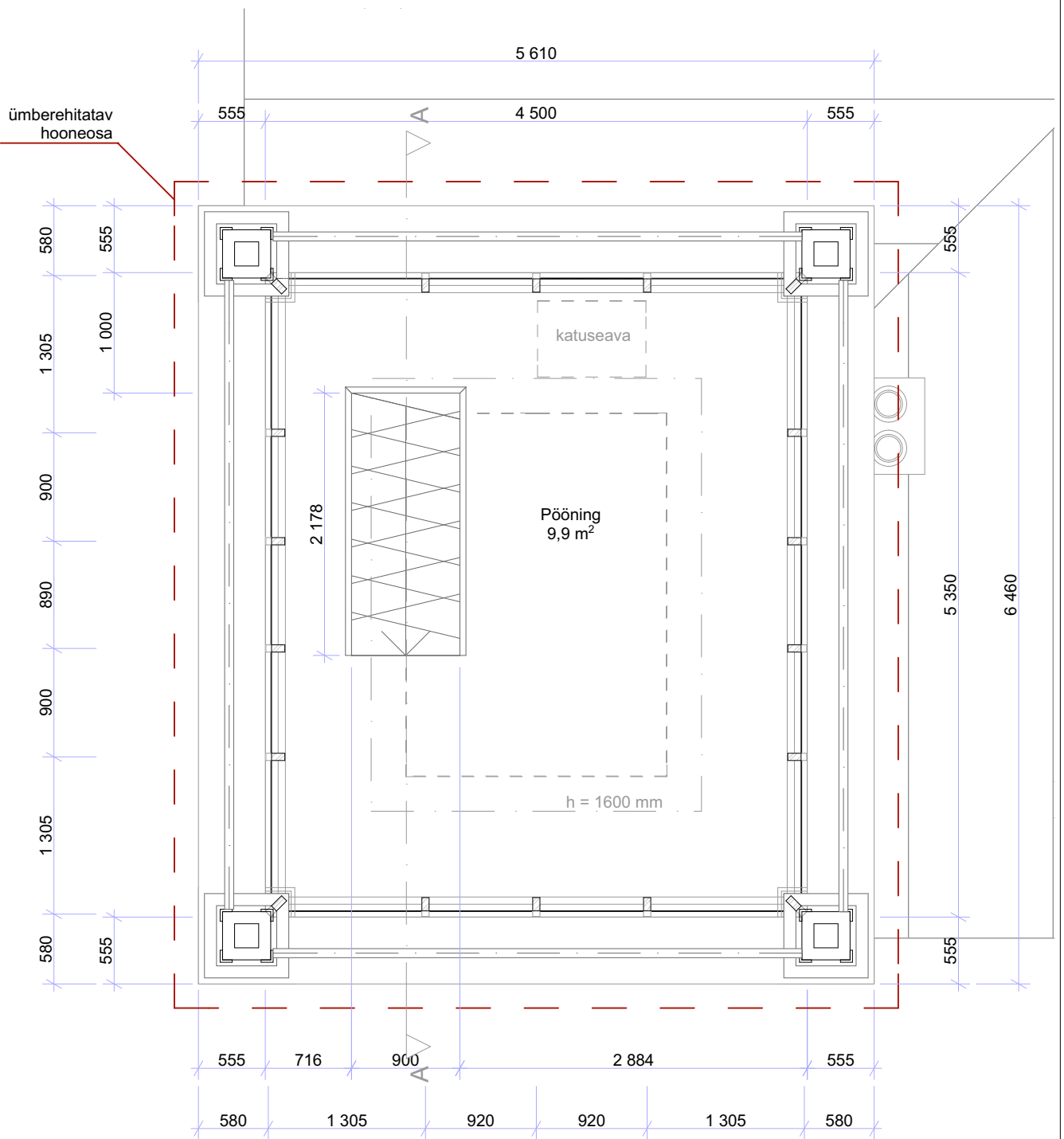
Koordinaadid L-Est 97 süsteemis.
Kõrgused Balti süsteemis.
Asendiplaani aluseks on Geopartner OÜ
koostatud geodeetiline alusplaan GEO 16-883
(detsember 2016).



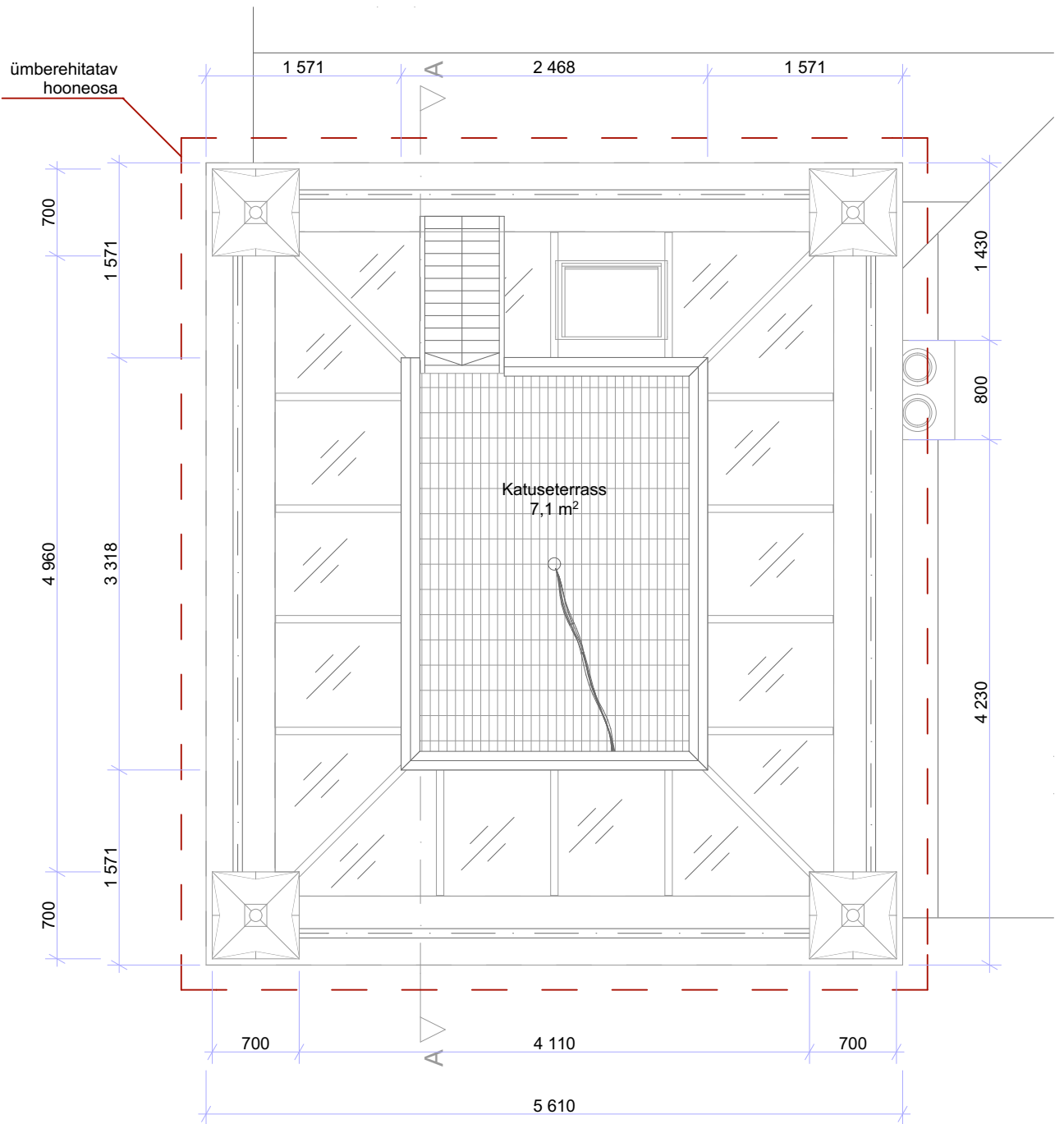
Y = 658650

X = 6474500

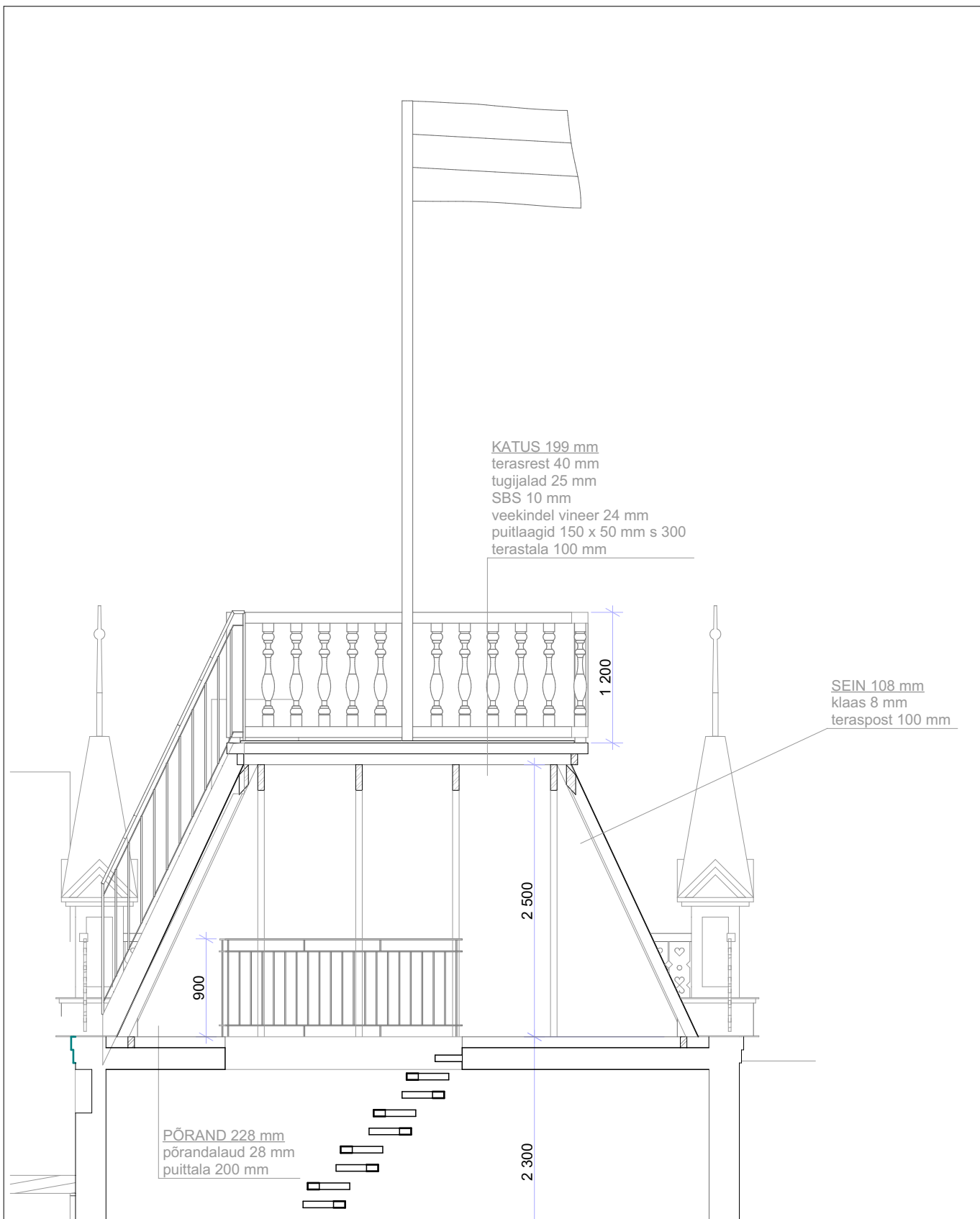
	Tellija Korporatsioon Fraternitas Liviensis vilistlaskogu			Objekt Jakobi 52, Tartu linn, Tartu maakond KÜ 79507:017:0003		
	Nimi	Allkiri	Kuupäev	Nimetus Asendiplaan		
Koostas	K. Kodasma					
Juhendas	M. Pärdis					
Tallinna Tehnikaülikool				Leht	Lehti	Möötkava
				1	12	1:500



	Tellija Korporatsioon Fraternitas Liviensis vilistlaskogu			Objekt Jakobi 52, Tartu linn, Tartu maakond KÜ 79507:017:0003		
	Nimi	Allkiri	Kuupäev	Nimetus Pööningu plaan		
Koostas	K. Kodasma					
Juhendas	M. Pärdi					
Tallinna Tehnikaülikool				Leht 2	Lehti 12	Möötkava 1:50



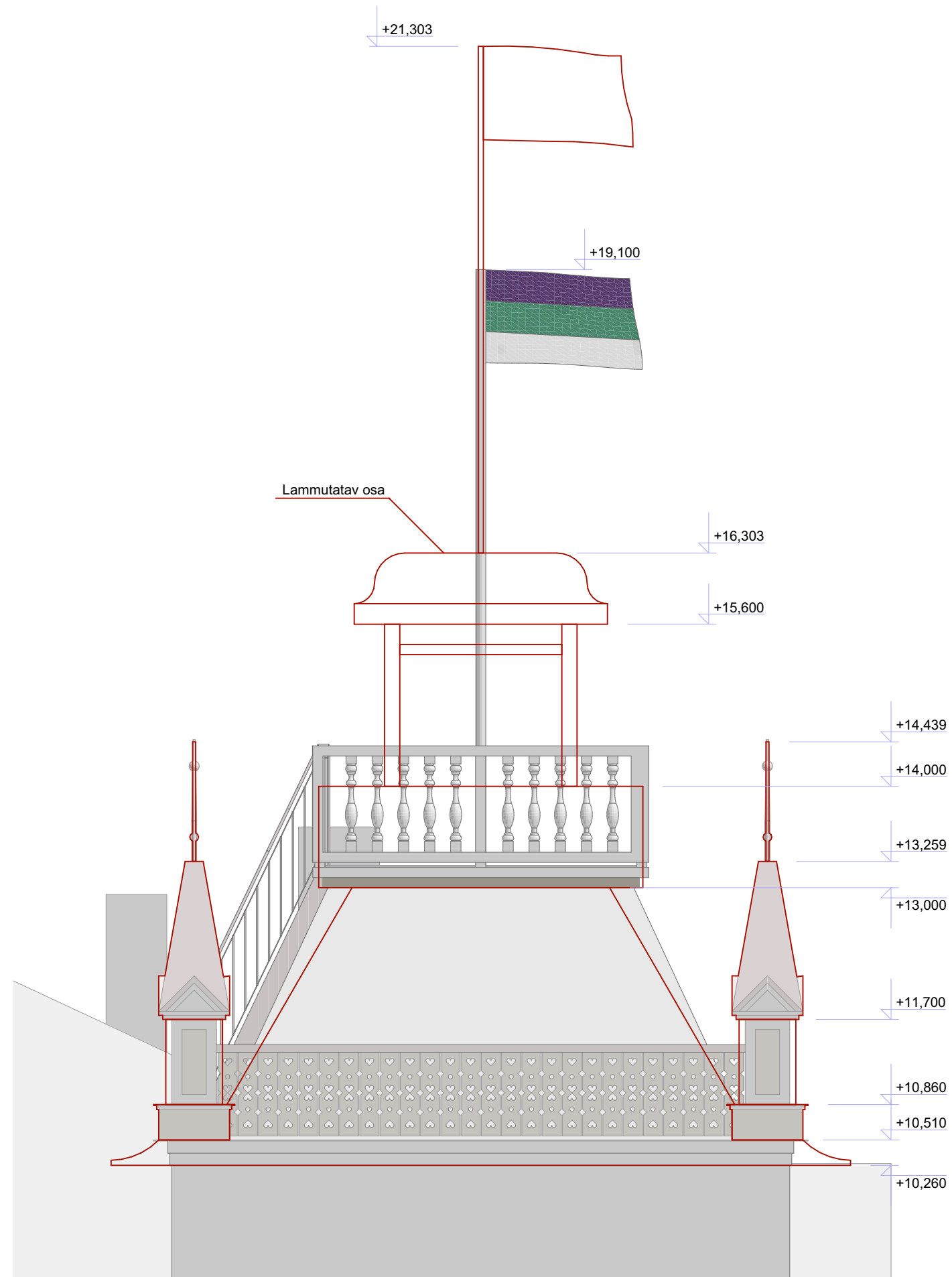
	Tellija Korporatsioon Fraternitas Liviensis vilistlaskogu			Objekt Jakobi 52, Tartu linn, Tartu maakond KÜ 79507:017:0003		
	Nimi	Allkiri	Kuupäev	Nimetus Katuseterrassi plan		
Koostas	K. Kodasma					
Juhendas	M. Pärdi					
Tallinna Tehnikaülikool				Leht 3	Lehti 12	Möötkava 1:50



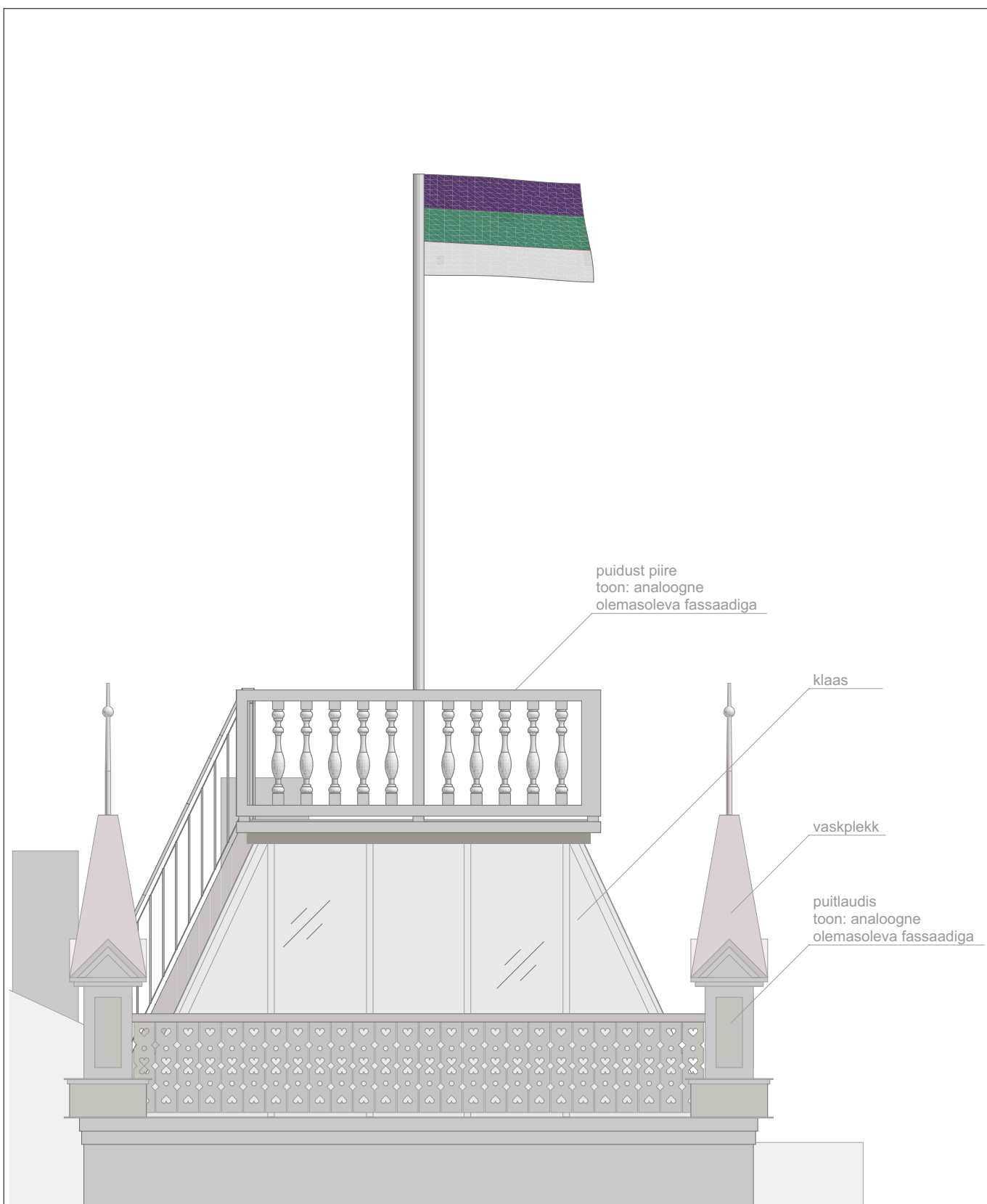
	Tellija Korporatsioon Fraternitas Liviensis vilistlaskogu			Objekt Jakobi 52, Tartu linn, Tartu maakond KÜ 79507:017:0003		
	Nimi	Allkiri	Kuupäev	Nimetus Lõige A-A		
Koostas	K. Kodasma					
Juhendas	M. Pärdi					
Tallinna Tehnikaülikool				Leht 4	Lehti 12	Möötkava 1:50



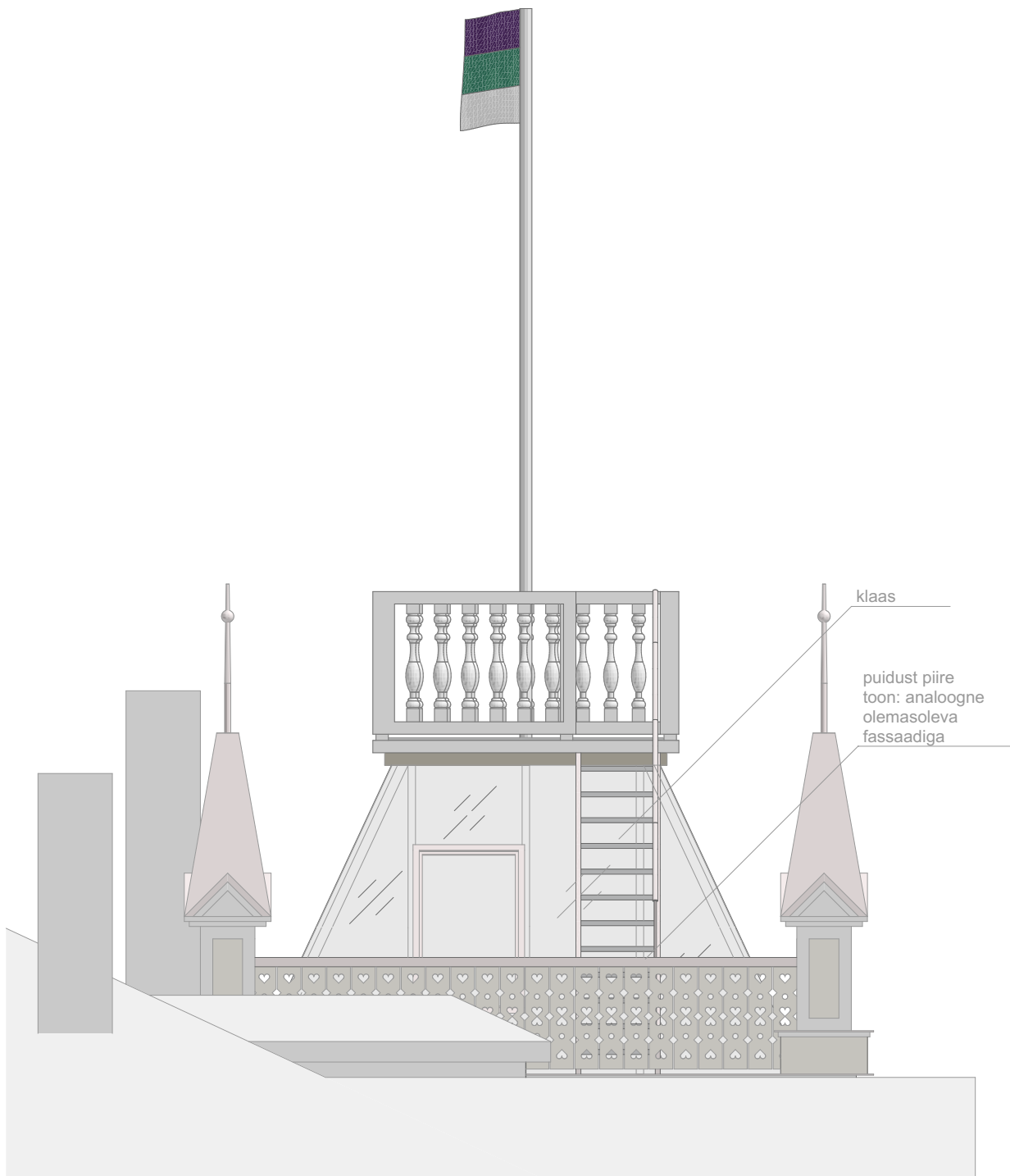
	Tellija Korporatsioon Fraternitas Livienis vilistlaskogu			Objekt Jakobi 52, Tartu linn, Tartu maakond KÜ 79507:017:0003		
	Nimi	Allkiri	Kuupäev	Nimetus Vaade idast		
Koostas	K. Kodasma					
Juhendas	M. Pärdi					
Tallinna Tehnikaülikool				Leht 5	Lehti 12	Möötkava 1:100



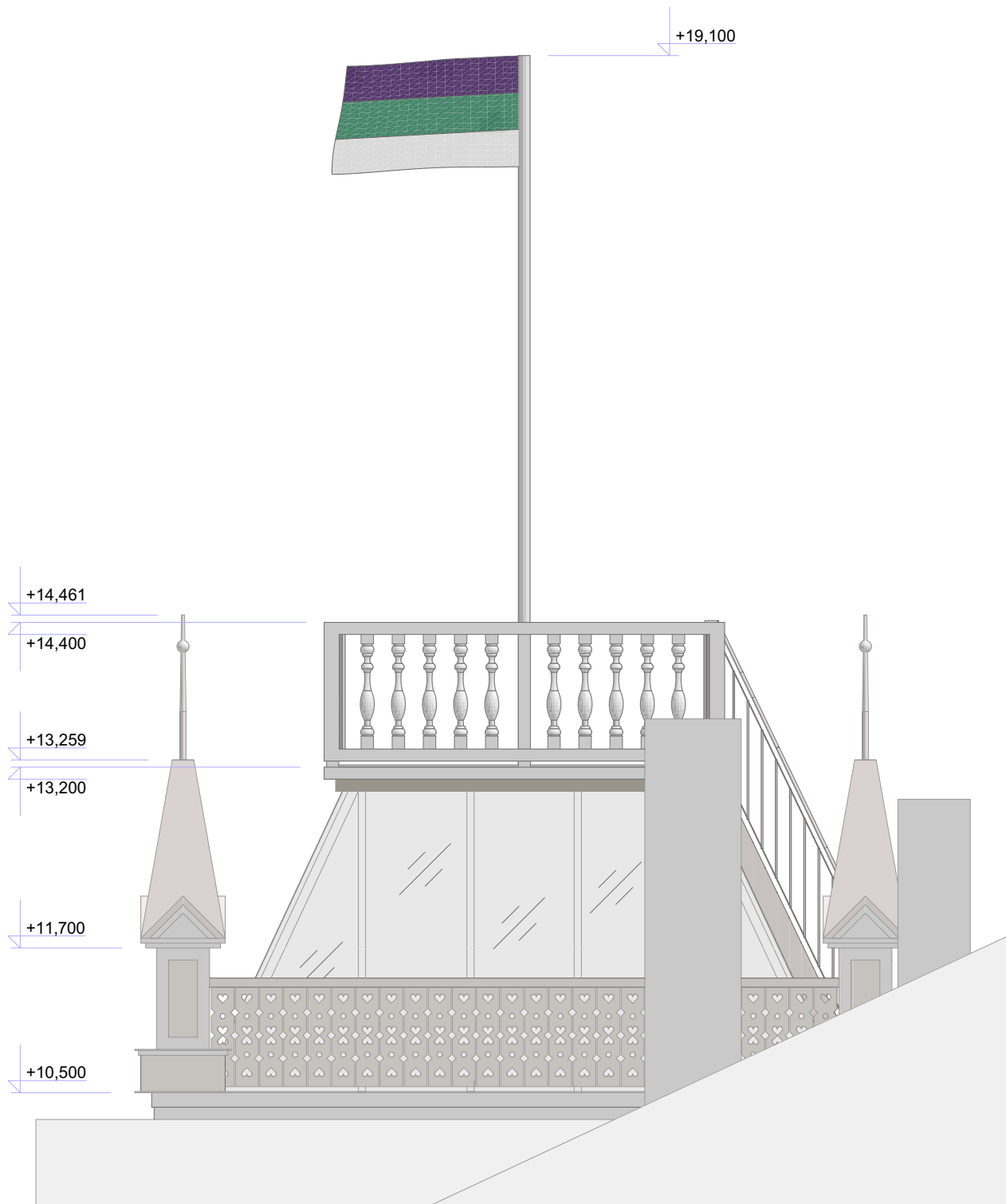
	Tellija Korporatsioon Fraternitas Liviensis vilistlaskogu			Objekt Jakobi 52, Tartu linn, Tartu maakond KÜ 79507:017:0003		
	Nimi	Allkiri	Kuupäev	Nimetus		
Koostas	K. Kodasma			Lammutatav osa		
Juhendas	M. Pärdi					
Tallinna Tehnikaülikool				Leht 6	Lehti 12	Möötkava 1:50



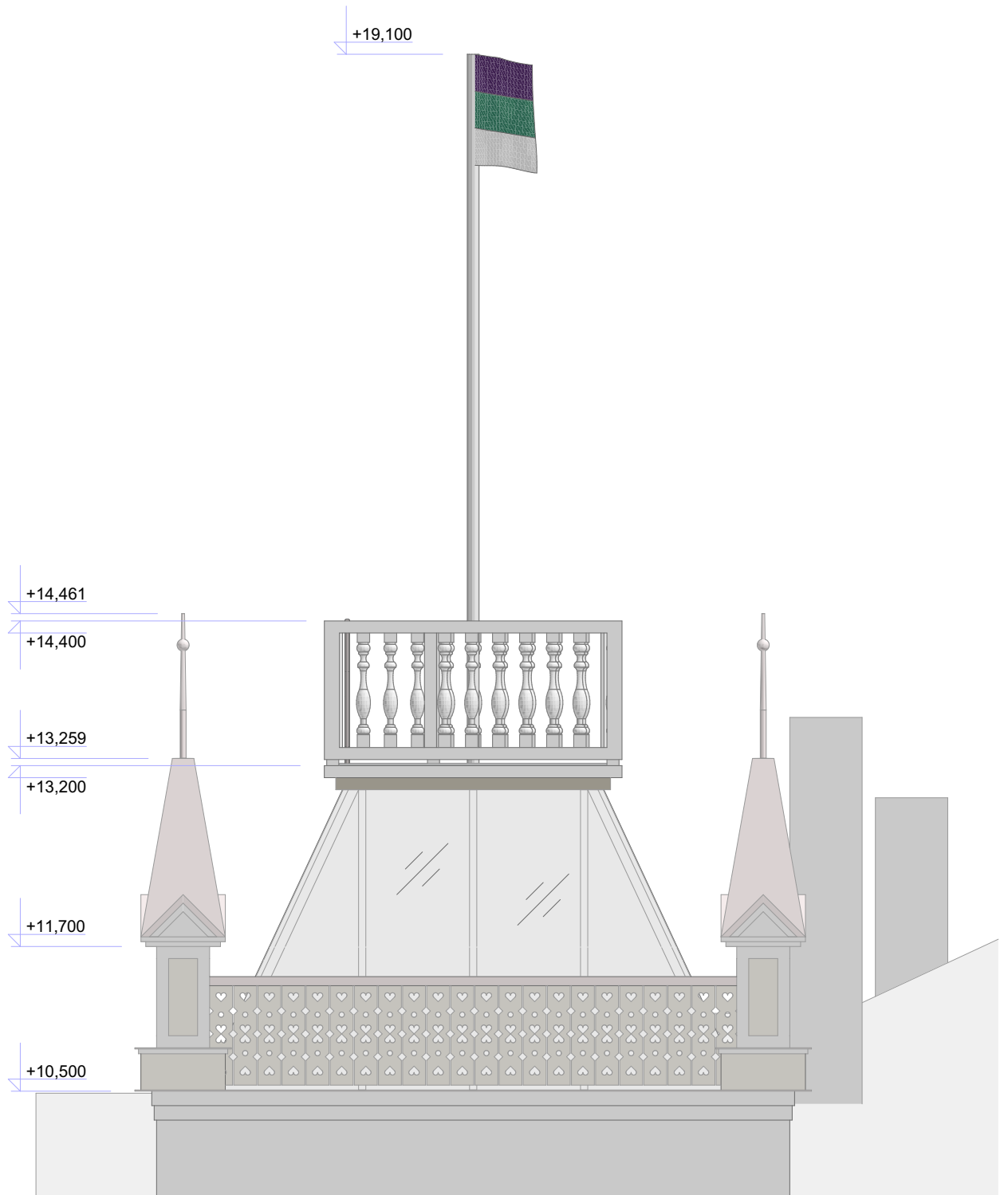
	Tellija Korporatsioon Fraternitas Liviensis vilistlaskogu			Objekt Jakobi 52, Tartu linn, Tartu maakond KÜ 79507:017:0003		
	Nimi	Allkiri	Kuupäev	Nimetus Torni vaade idast		
Koostas	K. Kodasma					
Juhendas	M. Pärdi					
Tallinna Tehnikaülikool				Leht 7	Lehti 12	Möötkava 1:50



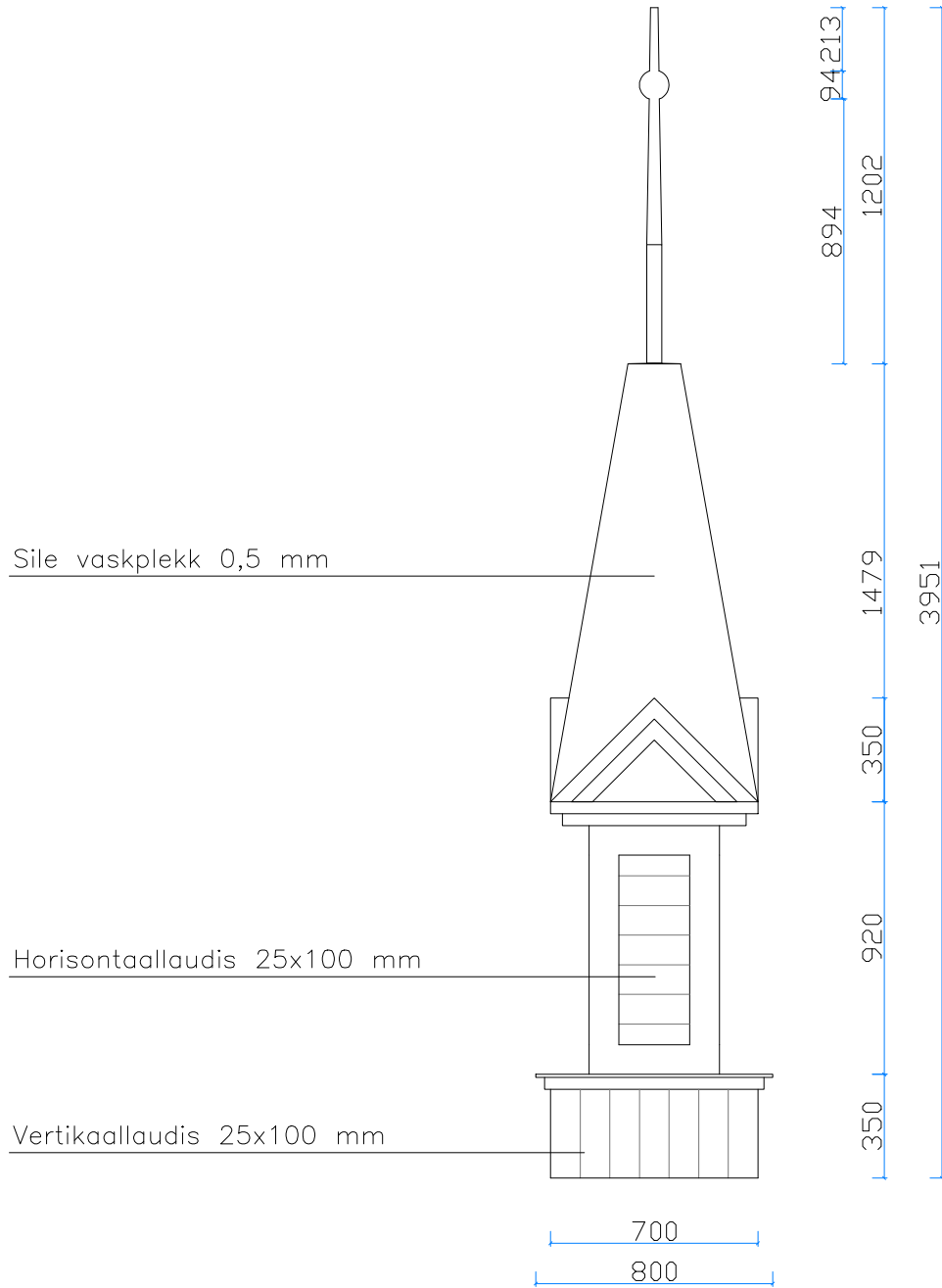
	Tellija Korporatsioon Fraternitas Liviensis vilistlaskogu			Objekt Jakobi 52, Tartu linn, Tartu maakond KÜ 79507:017:0003		
	Nimi	Allkiri	Kuupäev	Nimetus Torni vaade lõunast		
Koostas	K. Kodasma					
Juhendas	M. Pärdi					
Tallinna Tehnikaülikool				Leht 8	Lehti 12	Möötkava 1:50



	Tellija Korporatsioon Fraternitas Liviensis vilistlaskogu			Objekt Jakobi 52, Tartu linn, Tartu maakond KÜ 79507:017:0003		
	Nimi	Allkiri	Kuupäev	Nimetus Torni vaade läänest		
Koostas	K. Kodasma					
Juhendas	M. Pärdi					
Tallinna Tehnikaülikool				Leht 9	Lehti 12	Möötkava 1:50

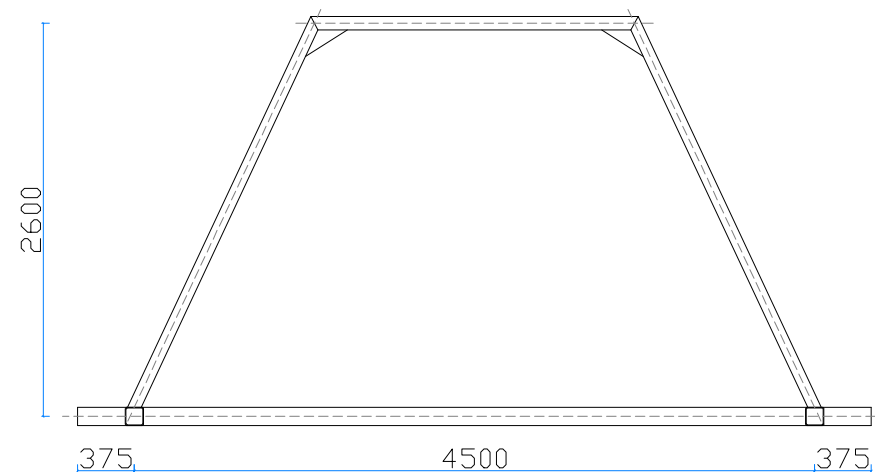
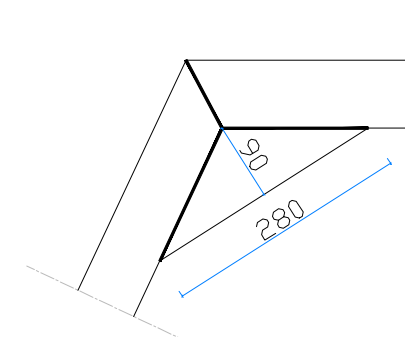
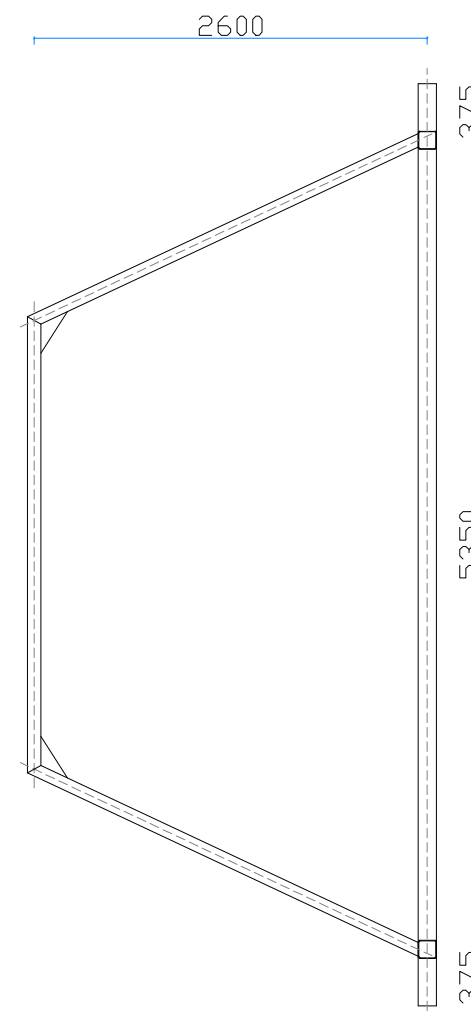
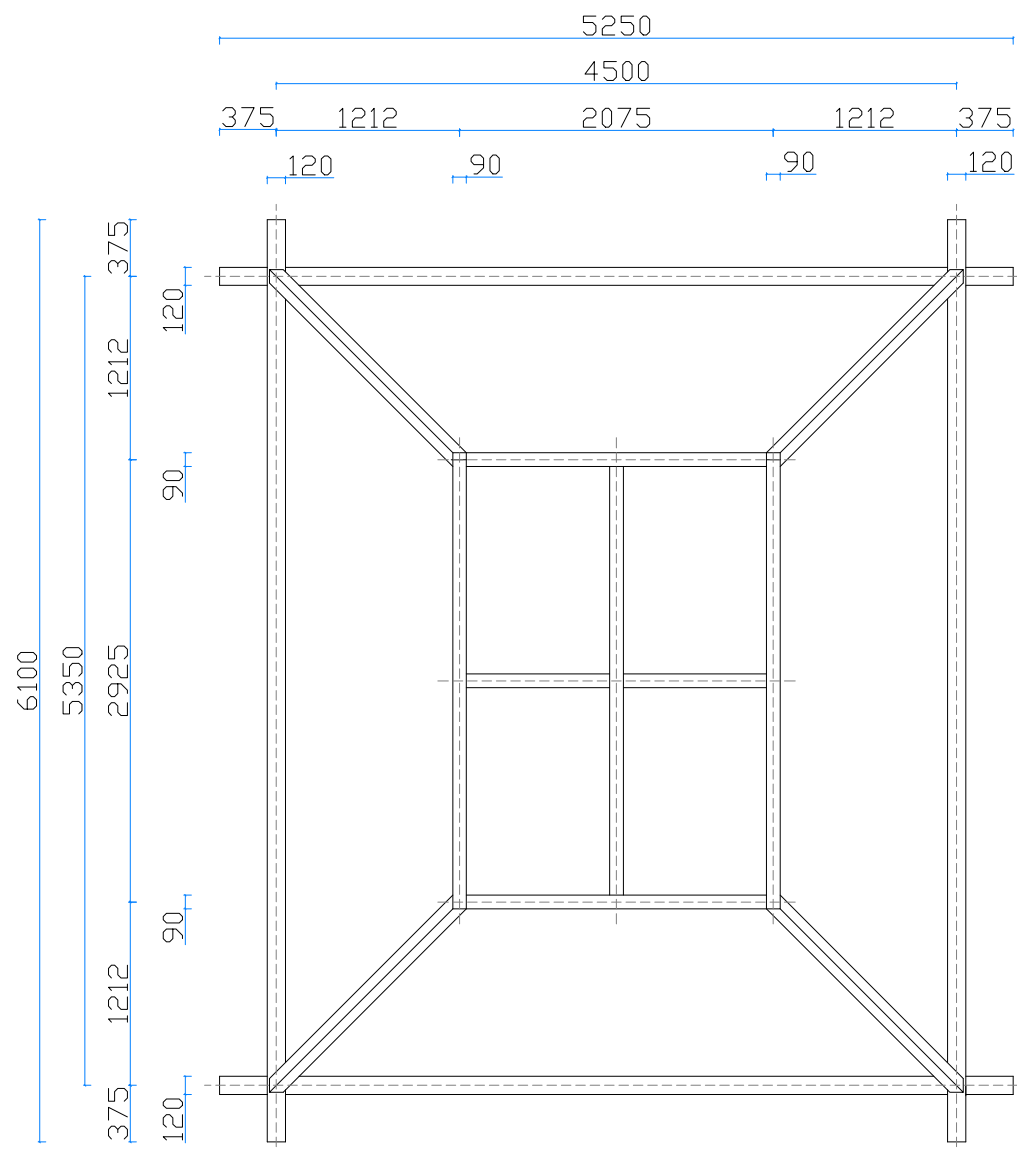


	Tellija Korporatsioon Fraternitas Liviensis vilistlaskogu			Objekt Jakobi 52, Tartu linn, Tartu maakond KÜ 79507:017:0003		
	Nimi	Allkiri	Kuupäev	Nimetus Torni vaade põhjast		
Koostas	K. Kodasma					
Juhendas	M. Pärdi					
Tallinna Tehnikaülikool				Leht 10	Lehti 12	Möötkava 1:50



	Tellija Korporatsioon Fraternitas Liviensis vilistlaskogu			Objekt Jakobi 52, Tartu linn, Tartu maakond KÜ 79507:017:0003		
	Nimi	Allkiri	Kuupäev	Nimetus Nurgatorn		
Koostas	K. Kodasma					
Juhendas	M. Pärdi					
Tallinna Tehnikaülikool				Leht 11	Lehti 12	Möötkava 1:25

Keevisliide 1



Märkused:

Kasutatavad profiilid:

- 120 x 120 x 4 mm, S 355
- 90 x 90 x 4 mm, S 335

Keevisliite kõrgus $a = 4$ mm.

Raami ülemises tasapinnas posti ja tala sõlme liites lisatud jäigastuseks 90 x 90 x 4 mm profiil, vt Keevisliide 1.

	Tellija Korporatsioon Fraternitas Liviensis vilistlaskogu			Objekt Jakobi 52, Tartu linn, Tartu maakond KÜ 79507:017:0003
	Nimi	Allkiri	Kuupäev	Nimetus Terasraam
Koostas	K. Kodasma			
Juhendas	M. Pärdi			
Tallinna Tehnikaülikool				Leht 12
				Lehti 12
				Möötkava 1:50