



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
INSENERITEADUSKOND
Ehituse ja arhitektuuri instituut

**PÕHUPANEELIDEST VIBUSPORDI
TREENINGHOONE ARHITEKTUURNE LAHENDUS
JA KANDVATE RAAMKONSTRUKTSIOONIDE
VÕRDLUS**

**AN ARCHITECTURAL SOLUTION FOR A STRAW PANEL
ARCHERY PRACTICE FACILITY AND A COMPARISON OF
LOAD BEARING PORTAL FRAME CONSTRUCTIONS**

MAGISTRITÖÖ

Üliõpilane: Johanna Vaida

Üliõpilaskood 177526EAEI

Juhendajad: lektor Ragnar Pabort,
Mikk Luht

Tartu 2022

AUTORIDEKLARATSIOON

Olen koostanud lõputöö iseseisvalt.

Lõputöö alusel ei ole varem kutse- või teaduskraadi või inseneridiplomit taotletud.

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

20. mai 2022

Autor:
/ allkiri /

Töö vastab magistritööle esitatud nõuetele.

"....." 20.....

Juhendaja:
/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

"....."20... .

Kaitsmiskomisjoni esimees:

.....
/ nimi ja allkiri /

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

Mina, Johanna Vaida,

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose
**Põhupaneelidest vibuspordi treeninghoone arhitektuurne lahendus ja
kandvate raamkonstruktsioonide võrdlus,**

mille juhendaja on lektor Ragnar Pabort ja Mikk Luht.

- 1.1 reprodutseerimiseks lõputöö säilitamise ja elektroonse avaldamise eesmärgil, sh Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogusse lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;
 - 1.2 üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tallinna Tehnikaülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogu kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.
2. Olen teadlik, et käesoleva lihtlitsentsi punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.
 3. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest ning muudest õigusaktidest tulenevaid õigusi.
-

_____ (kuupäev)

Lihtlitsents ei kehti juurdepääsupiirangu kehtivuse ajal vastavalt üliõpilase taotlusele lõputööle juurdepääsupiirangu kehtestamiseks, mis on allkirjastatud teaduskonna dekaani poolt, välja arvatud ülikooli õigus lõputööd reprodutseerida üksnes säilitamise eesmärgil. Kui lõputöö on loonud kaks või enam isikut oma ühise loomingulise tegevusega ning lõputöö kaas- või ühisautor(id) ei ole andnud lõputööd kaitsvale üliõpilasele kindlaksmääratud tähtajaks nõusolekut lõputöö reprodutseerimiseks ja avalikustamiseks vastavalt lihtlitsentsi punktidele 1.1. ja 1.2, siis lihtlitsents nimetatud tähtaja jooksul ei kehti.

Tartu kolledž

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Üliõpilane: Johanna Vaida, 177526EAEI
Õppekava: EAEI02 Ehitiste projekteerimine ja ehitusjuhtimine
Peaeriala: Ehitiste projekteerimine ja arhitektuur
Juhendajad: lektor Ragnar Pabort, ragnar.pabort@gmail.com
Mikk Luht, mikk@eestimaaehitus.ee

Lõputöö teema:

PÕHUPANEELIDEST VIBUSPORDI TREENINGHOONE ARHITEKTUURNE LAHENDUS JA
KANDVATE RAAMKONSTRUKTSIOONIDE VÕRDLU

*An architectural solution for a straw panel archery practice facility and a comparison of
load bearing portal frame constructions*

Lõputöö põhieesmärgid:

1. Vibuspordi hoone arhitektuurne lahendus
2. Tähtsamate kandvate konstruktsioonide projekteerimine
3. Põhupaneelide uurimine ja võimaliku lahenduse välja töötamine

Lõputöö etapid ja ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Arhitektuurne lahendus	01.02.2022
2.	Koormused	01.03.2022
3.	Konstruktivne lahendus	01.04.2022
4.	Põhupaneelide osa, joonised	01.05.2022
5.	Vormistamine, sissejuhatus	01.06.2022
6.	Kokkuvõtte eesti ja inglise keeles	16.06.2022

Töö keel: eesti keel **Lõputöö esitamise tähtaeg:** "20" mai 2022a

Üliõpilane: Johanna Vaida "....." mai 2022. a
/allkiri/

Juhendaja: Ragnar Pabort "....." mai 2022. a
/allkiri/

Programmijuht: Aime Ruus "....." mai 2022. a
/allkiri/

....

SISUKORD

SISUKORD	6
LÜHENDITE JA TÄHISTE LOETELU	9
TABELITE LOETELU	12
JOONISTE LOETELU.....	13
SISSEJUHATUS	14
1. Seletuskiri.....	15
1.1 Asendiplaan.....	15
1.1.1 Olemasolev plaanilahendus	15
1.1.2 Vertikaalplaneering	15
1.1.3 Platsid ja teed.....	15
1.2 Ruumiplaneering.....	16
1.3 Tarindid ja nende arhitektuurne kirjeldus.....	16
1.4 Küte	18
1.5 Veevarustus ja kanalisatsioon	18
1.6 Elekter ja nõrkvool	18
1.7 Tuleohutusnõuded.....	18
2. Koormused	19
2.1 Omakaal.....	19
2.2 Lumekoormus.....	19
2.3 Tuulekoormus.....	20
3. Konstruktsioonide arvutus	27
3.1 Abitala arvutus	27
3.2 Vahelae talade dimensioneerimine	29
3.3 Vahelae peatala ja postid	30
3.4 Raami arvutus.....	32
3.5 Portaakraam variant 1.....	34
3.5.1 Nurgasõlme arvutus poltidega	34
3.5.2 Nõtkepikkused.....	39
3.5.3 Toesõlme kontroll	40
3.5.4 Harjasõlme kontroll.....	44
3.5.5 Raami dimensioneerimine	46
3.6 Portaakraam variant 2.....	48

3.6.1	Nurgasõlme arvutus epokslüümi ja terasplaadiga	48
3.6.2	Nõtkepikkused.....	53
3.6.3	Toesõlme kontroll	54
3.6.4	Harjasõlme kontroll.....	58
3.6.5	Raami dimensioneerimine	58
3.7	Raamide lahenduste võrdlus.....	60
4.	Põhupaneelidest seinakonstruktsioon.....	62
4.1.1	Üldiselt põhupaneelidest	62
4.1.2	Seinatarind	63
4.1.3	Tuletundlikus.....	63
4.1.4	Paneelide kandekarkass	64
4.1.5	Paneeli tüübid	64
	Kokkuvõte.....	67
	Summary	68
	Kasutatud kirjandus.....	70
	LISAD	73
	Lisa 1 Raami (variant 1) sisejõud	73
	Lisa 2 Raami (variant 2) sisejõud	74
	Lisa 3 Raami arvutused (versioon 1)	75
	Lisa 4 Raami arvutused (versioon 2)	79
	Lisa 5 Vahelae tala arvutused.....	83
	Lisa 6 Vahelae peatala arvutused.....	85
	Lisa 7 Enimkoormatud posti arvutusfail.....	88
	Lisa 8 Seina soojustakistus	89

GRAAFILINE OSA

1.	Kangru talu asendiplaan	1:100
2.	1. korruse plaan	1:100
3.	2. korruse plaan	1:100
4.	Vahelae kandjad	1:100
5.	Vaated	1:200
6.	Lõiked	1:100
7.	Soklisõlm	1:10
8.	Räästasõlm	1:10
9.	Lõuna külje paneelide jaotus	1:75
10.	Põhja külje paneelide jaotus	1:75
11.	Ida ja lääne külje paneelide jaotus	1:75
12.	EcoCocon paneelide spetsifikatsioon	1:25
13.	Tarindid	1:25
14.	Ilupildid	

LÜHENDITE JA TÄHISTE LOETELU

A	– pindala
A_{net}	– netopindala
ARSAP	– Autodesk Robot Structural Analysis Professional
$a_1, a_2, a_{3,t}, a_{4,t}$	– poltide vahekaugused
b	– laius
B_i	– tala laius pilusid maha arvestades
C_e	– avatustegur
C_{pe}	– välisrõhu rõhutegur
C_t	– soojustegur
d	– naela läbimõõt
e	– koormustsooni mõõde, ekstsentrilisus
$E_{0,g,05}$	–elastsusmoodul 5% pikikiudu
$E_{0,g,mean}$	– elastsusmoodul
$F_{bs,Rd}$	– kandevõime klotsi- või uurdekujulise nihkepurunemise korral
$f_{h,0,d}$	– muljumistugevus
$f_{m,y,d}, f_{m,z,d}$	–paindetugevuse arvutusväärtus
$F_{v,Rd}$	–ühe kinnituselemendi arvutuslik kandevõime
F_M	–jõud momendist
F_N	–jõud pikijõust
F_V	–jõud põikjõust
$f_{c,0,g,k}$	– survetugevus pikikiudu
$f_{c,90,g,k}$	–survetugevus ristikiudu
$f_{m,g,k}$	– paindetugevus
$f_{r,g,k}$	–Külgnihketugevus
$f_{t,0,g,k}$	–tõmbetugevus pikikiudu
$f_{t,90,g,k}$	–tõmbetugevus ristikiudu
f_{ub}	–terase tõmbetugevus
$f_{v,g,k}$	–nihketugevus
$G_{g,mean}$	– Nihkemoodul
$G_{r,g,mean}$	– Külgnihkemoodul
h	– kõrgus
h_i	– metallplaadi kõrgus
I_x, I_y, I_p	– inertsimoment
k_{90}	– tegur

k_h	- tegur
k_{mod}	- modifikatsioonitegur
K_r	- pöördejäikus
K_{ser}	- liite nihkemoodul
K_u	- hetkeline liite nihkemoodul kandepiirseisundis
KK	- Koormuskombinatsioon
l	- pikkus
$l_{ef,p}$	- posti nõtkepikkus
$l_{ef,r}$	- riivi nõtkepikkus
$L_{net,t}$	- ristlõike netolaius ristikiudu
$L_{net,v}$	- nihkele puruneva pinna kogupikkus
$M_{T,Ed}$	- täiendav moment pikijõust
$M_{y,d}, M_{z,d}$	- paindemomendi arvvaärtus x või y-telje suhtes
M_p	- moment postis
M_r	- moment riivis
n_1, n_2	- kogus
N_p	- pikijõud postis
N_r	- pikijõud riivis
$Q_{k,1}$	- domineeriva muutuvkoormuse väärtus
$Q_{k,j}$	- mitte domineeriva muutuvkoormuse väärtus
$\sigma_{m,y,d}, \sigma_{m,z,d}$	- paindepinge x või y-telje suhtes
q _p	- kiirusrõhk
$R_{j,d}$	- kahe lõikepinna kandevõime
r_1, r_2	- raadius
S	- samm
s	- lume normatiivse koormus
s _k	- normatiivne lumekoormus maapinnal
SLS	- Kasutuspiirseisund
z	- hoone kõrgus
t ₁ , t ₂	- ristlõike paksus
ULS	- kandepiirseisund
V_p	- põikjõud postis
V_r	- põikjõud riivis
w_e	- tuulerõhk
W_n	- puidu ristlõike vastupanumoment
W_x	- terasplaadi vastupanumoment

w_{fin}	– lõplik läbipaine
x_g, y_g	– raskuskeskme kaugus x või y teljest
Z_e	– arvutuskõrgus
$\alpha_1, \alpha_2, \alpha_1, \alpha_2$	– jõu mõjumis nurk
β	– elementide muljumistugevuste suhe
$\gamma_{Gj,inf}$	– alaliskoormuse soodne mõju
$\gamma_{Gj,sup}$	– alaliskoormuse ebasoodne mõju
$\gamma_M, \gamma_{M,e}, \gamma_{M,c}$	
γ_{M2}, γ_{M0}	– osavarutegur
μ_i	– lumekoormus kujutegur
ρ_k	– normtihedus
$\sigma_{m,y,d}, \sigma_{m,z,d}$	– paindepinge x või y-telje suhtes
σ_M	– paindepinge
τ	– nihkepinge
$\Psi_{0,i}, \Psi_1, \Psi_2$	– kombinatsioonitegur

TABELITE LOETELU

Tabel 1.1 Tehnilised andmed	15
Tabel 2.1 Katuse tarindi kihid.....	19
Tabel 2.2 Vahelae tarindi kihid	19
Tabel 2.3 Katusele mõjuvad tuulekoormused.....	22
Tabel 2.4 Seintele mõjuvad tuulekoormused risti hoonet.....	23
Tabel 2.5 Seintele mõjuvad tuulekoormused piki hoonet	24
Tabel 2.6 Koormuse osavarutegurid	25
Tabel 2.7 kombinatsioonitegurid	25
Tabel 3.1 Raami mahtude võrdlus.....	61
Tabel 3.2 Ühendusdetailide maksumus võrdlus.....	61

JOONISTE LOETELU

Joonis 2.1 Katuse koormustsoonid risti hoonet	21
Joonis 2.2 Katuse koormustsoonid piki hoonet	22
Joonis 2.3 Seina koormustsoonid risti hoonet	23
Joonis 2.4 Seina koormustsoonid piki hoonet	24
Joonis 3.1 Vildakpaine jõud.....	27
Joonis 3.2 Vahelae tala koormusskeem	29
Joonis 3.3 Vahelae tala põikjõu epüür	29
Joonis 3.4 Vahelae tala paindemomendi epüür	30
Joonis 3.5 Vahelae tala deformatsiooni skeem.....	30
Joonis 3.6 Vahelae peatala koormusskeem	31
Joonis 3.7 Vahelae peatala paindemomendi epüür	31
Joonis 3.8 Vahelae peatala põikjõu epüür	31
Joonis 3.9 Pikijõud postides	32
Joonis 3.10 Vahelae peatala deformatsioonid	32
Joonis 3.11 Portaalarami arvutusskeem.....	33
Joonis 3.12 Nurgasõlm	34
Joonis 3.13 Toereaktsioonid KK9	40
Joonis 3.14 Toesõlm	41
Joonis 3.15 Harjasõlm ja jõud sõlmes	44
Joonis 3.16 Raami mõõtmed	47
Joonis 3.17 Raami varraste läbipainded	47
Joonis 3.18 Terasplaadi paigutus	49
Joonis 3.19 Toereaktsioonid KK9	54
Joonis 3.20 Toesõlm	55
Joonis 3.21 Harjasõlm variant 2	58
Joonis 3.22 Raami mõõtmed	59
Joonis 3.23 Raami varraste läbipainded	59
Joonis 4.1 Paneelide tüübid vasakult : standardpaneel, tugevdatud diagonaalidega paneel, post, kaldega paneel.....	65
Joonis 4.2 Paneelide tüübid ülevalt: aknaalune paneel, sillus.....	66
Joonis 5.1 F_x jõuepüür.....	73
Joonis 5.2 F_z jõuepüür M_y paindemomendi epüür	73
Joonis 5.3 M_y paindemomendi epüür	73
Joonis 5.4 F_x jõuepüür.....	74
Joonis 5.5 F_z jõuepüür.....	74
Joonis 5.6 M_y paindemomendi epüür	74

SISSEJUHATUS

Üha enam on ühiskond sunnitud mõtlema taaskasutusele ja keskkonnasõbralikkusele. Säästvat ja mõistlikku loodusressursside tarbimist silmas pidades on ehitustegevusel kanda suur ja tähtis roll. Seega on oluline leida uusi jätkusuutlikumaid lahendusi ja alternatiive praegustele ehitusmaterjalidele. Seda vajadust süvendab rahvastiku arvu pidev suurenemine maailmas ning seoses sellega kasvab ka ehitiste nõudlus.

Hoone ökoloogilise jalajälje vähendamisel on oluline, et ehitusmaterjal tuleks võimalikult lähedalt ning ei vajaks palju töötlemist. Käesolevas lõputöös kasutatakse traditsioonilise välisseina soojustuse asemel pühupaneele. Pühupaneele tehes tarvitatakse ära põllul tekkinud jääkprodukt. Magistritöö üheks eesmärgiks on tutvustada pühupaneeli kui huvitavat soojustusmaterjali ja leidlikku lahendust antud projekti juures.

Magistritöö teema tuleb vajadusest projekteerida vibulaskmise hoone talviste treeninguteks tarvis. Omaniku soov on, et lasketiir sobituks teiste krundil olevate taluhoonetega. Antud magistritöös käsitletakse vaid hoone maapealseid osi ja tehakse arvutusi kõige kriitilisematele konstruktsiooni osadele. Vibulaskmise juures peab arvestama, et hoone oleks võimalikult avar ning poleks takistavaid kandeelemente. Konstruktsiooni arvutustes lahendatakse kahe erineva nurgasõlmega portaalraam ja leitakse antud tingimustele sobivam.

Hoone arhitektuurse mudeli ja jooniste tegemiseks kasutati Autodeski programme *Revit 2022* ja *AutoCad 2021*. Konstruktsioonide arvutusel leiti sisejõud *Autodek Robot Structural Analysis Professional 2022* programmiga. Joonised programmist lisatud kuvatõmmistena. Tabelite koostamiseks kasutati Excelit ja arvutusteks SMath Studiot.

1. SELETUSKIRI

Tabel 1.1 Tehnilised andmed

Otstarve	Treeningsaal
Pikkus	26,012 m
Laius	11,012 m
Kõrgus	7,740 m
Ehitisealune pindala	250,00 m ²
Suletud netopindala	312,11 m ²
Suletud brutopindala	369,09 m ²
Korruselisus	2

1.1 Asendiplaan

1.1.1 Olemasolev plaanilahendus

Kangru kinnistu asub Harjumaal Kose vallas Kanavere külas. Suurem osa kinnistust on haritav maa (9,07 ha). Väiksema osa moodustab metsamaa (0,31 ha), õuema (0,46 ha) ja muu otstarbega maa (0,12 ha). Juurdepääs kinnistule on lääneküljest, Kolu-Habaja teelt. Kinnistul paiknev hoonestus asub edelapoolses nurgas. Projekteeritavast hoonest lõunapoole jääb veel ühekorruseline kõrvalhoone ja kahekorruseline eluhoone. Projekteeritav vibulaskehall planeeriti praeguse Kolu-Habaja teeäärse küüni asukohale. Hoonestuse vahel on nii suuremaid viljapuid, põõsaid kui ka okaspuid.

1.1.2 Vertikaalplaneering

Kinnistu hoonestatud ala absoluutsed kõrgused jäävad vahemikku 62,5..65 m langusega ida suunas.

1.1.3 Platsid ja teed

Projekteeritavale vibuspordi hoonele on planeeritud juurdepääs Kolu-Habaja teelt. Hoone kasutajatele parkimine on planeeritud hoone kõrval olevale muruplatsile. Planeeritud alale mahub 6-7 sõidukit.

Krundile on plaanitud sissesõidutee, mis viib kuni eramaja ja abihooneni, kus on omaniku parkimiskohad.

1.2 Ruumiplaneering

Projekteeritud hoone on avatud ruumiplaneeringuga. Eraldi kinnised ruumid on pesuruum, WC ja varustuse hoidmiseks lukustatav hoiuruum. Esimese korruse suur hall on vibutreeninguteks. Laskmisala pikkuse puhul arvestatakse põhilise siselaskmise formaadiga, milleks on 18 meetri harjutus. Laskmisala ja puhkeala vahel on vahesein, mis tagab turvalisuse. Teine korrus on omaniku soovil mitme otstarbelise kasutusega. Seda ala on võimalik kasutada raamatukoguna, kontorina või treeninglaagrite majutusosalana. Kirjeldatud planeering graafilise osas 1. ja 2. korruse plaanil.

1.3 Tarindid ja nende arhitektuurne kirjeldus

Katus

Projekteeritava hoone viilkatus on 30°-se nurga all. Katuse põhjakülg kaetakse tavaliste Ruukki 50 Plus valtsprofiiliga. Värv must (RR33). Lõunaküljele paigaldatakse Roofit.solari valtsprofiili moodulid. Tegu on päiksepaneelidega, mis integreeritakse valtsprofiilpaneeli. Tootja paigaldusjuhiseid järgides jäetakse valtsprofiili alla 50 mm tuulutava vahe. Aluskatte alla tuleb kokku 250 mm soojustust (vt. Tabel 2.1). Katuse kandetarindiks 80x200mm GL28h roovid. Katuslae U-arvu väärtus on 0,15 W/(m²K). Arvutusfail on lisatud lõppu Lisa 8. Suurema energiatõhususe saavutamiseks tuleks suurendada soojustuse kihi paksust.

Soojustuseks kasutatakse klaasvilla kuid keskkonnasõbralikum alternatiiv sellele on tselluvill, mida valmistatakse vanapaberist. Selle soojusjuhtivustegur on suurem kui klaasvillal, mis tähendab, et katuslae soojapidavuse säilitamiseks tuleks soojustuse kihi paksust suurendada. Tselluvilla tootjasertifikaadi järgi $\lambda=0,039\text{W/mK}$. [1] Tselluvilla kasutades tuleb arvestada ka, et tema tihedus on suurem kui klaasvillal. Tootja sõnul tihedus kaldpinnal 0,5 kN/m³. [2]

Vahelagi

Vahelae kandvaks osaks on GL28h 80x200mm talad sammuga 0,5 meetrit. Talad on ühest otsast toetatud prussikingadega, mis kinnitatud paneelide külge. Teiselt poolt toetab talasid postidel olev kandurtala. Vahelagi ei ole soojustatud, kuna tegu pole kinnise korrusega. Talade peal on 22 mm puitlaastplaat ja laudis. (vt. Tabel 2.2).

Põrand

Hoone põrandaks on raudbetoonist plaat. Kuivadesse siseruumides ei tehta hilisemaid viimistlustöid. Dušširuumi ja WC-sse tuleb viimistluseks keraamiline plaat.

Välisseinad

Välisseinas planeeritakse kasutada EcoCoconi 400mm paksuseid põhupaneele. Siseviimistlus tehakse heleda savikrohviga. Paneeli välitingimuste poolsele küljele pannakse tuuletõkkekangas ja puitkiud isolatsiooniplaat. Lõplikuks väliseks viimistluseks ehitatakse tuulutatav puitlaudis. Tarindi (VS-1) lõige 13. joonisel graafilises osas.

Mittekandvad siseseinad

Mittekandavad siseseinad tulevad puitkarkassile, mis omakorda kaetakse tiheda laudisega. Seinad viimistletakse savikrohviga, mille alla pannakse roomatt. Alternatiivne kuid mitte nii looduslähedane võimalus on panna puitkarkassi peale kipsplaat. Märghades ruumides on puitkarkassile pandud Fermacelli kipskiudplaat, hüdroisolatsioon ja viimistluseks vetthülgav lubjapõhine krohv.

Avatäited

Kuna tegemist on lasketiiruga, siis aknad on kitsamad ja kõrgemal. Lõunapoolsele küljele planeeriti neli piklikku akent suurusega 2290x690mm. Lääne küljes on väike aken (890x1190mm), et oleks võimalik vaade teisel pool teed olevale laskeväljakule. Samuti on lõunaküljel kaks sissepääsu. Põhiline sissepääs toimub väiksemast M11xM21 suurusest uksest. Teine sissepääs suuremate mõõtmetega M16xM21 on mõeldud suuremamõõtmeliste asjade sisseveoks.

Muud konstruktsioonid

Peasissepääsu ees on paar trepiastet, mis ühilduvad läänepoolses küljes oleva väikese postvundamendile ehitatud terrassiga (10x4m). Terrass kaetakse immutatud

terrassilaudadega. Suurema laoukse eest on 8° kraadise kaldega 2,8m pikkune betoonist kaldtee.

1.4 Küte

Hoone küttesüsteemiks planeeriti õhk-vesi soojuspump, millega tagatakse ka sooja tarbevee tootmine.

1.5 Veevarustus ja kanalisatsioon

Vesi hakkab tulema hoonesse krundil olevast puurkaevust. Reovee jaoks planeeriti paigaldada septik koos imbväljakuga, kuna hoonestuse lähedal on palju kasutuseta põllumaad.

1.6 Elekter ja nõrkvool

Vibulaskmishoone ühendatakse teiste krundil olevate hoonetega samasse elektrivõrku.

1.7 Tuleohutusnõuded

Vastavalt ehitisele esitatud tuleohutusnõuetele kuulub antud hoone TP3-klassi. [3]
Lisaks veel mõned teised nõuded, mis sellele hoonele rakenduvad:

Kasutusviis	IV (spordihoone)
Kasutajate arv	Kuni 50 inimest
Kandekonstruktsioonide tulepüsivus	Kandekonstruktsioonidele nõudeid ei ole
Tuletõkkekonstruktsioonide tulepüsivus	EI30
Sisepinnad: Seinad ja lagi	D-s2,d2
Soojustussüsteem	D,d0
Välissein	D,d2
Õhutuspiilu välispind	D,d2

2. KOORMUSED

2.1 Omakaal

Tarindite omakaalukoormuste arvutamisel lähtuti tootjate andmetest ja standardist EVS-EN 1991-1-1:2002+NA:2002. Tarindite kihid koos koormustega on välja toodud alljärgnevates tabelites 2.1 ja 2.2 .

Tabel 2.1 Katuse tarindi kihid

Katuslagi					
Kihi nimetus	Kõrgus (mm)	Laius (mm)	samm (m)	mahukaal (kN/m ³)	Lauskoormus (kN/m ²)
Roofit paneel/Ruukki valtspaneel	1	554		0,127	0,127
Roovitus/tuulutus vahe	18	120	0,25	5	0,043
Roovitus/tuulutus vahe	35	45	0,4	5	0,020
Difuusne aluskate	1				0,002
Roovitus	50	100	0,6	5	0,042
Mineraalvill	50			0,25	0,013
Puit talad GL28h	200	80	0,6	5	0,133
Mineraalvill	200			0,25	0,050
aurutõke	1				0,002
roovitus	18	100	0,5	5	0,032
laudis	12	120		5	0,060
	336		Normatiivne omakaalukoormus :		0,509

Tabel 2.2 Vahelae tarindi kihid

Vahelagi					
Kihi nimetus	Paksus (mm)	Laius (mm)	samm (m)	mahukaal (kN/m ³)	Lauskoormus (kN/m ²)
Laudis	21	150		5	0,105
Puitlaastplaat	22			7	0,154
Laetala GL28h	200	80	0,5	5	0,160
Laudis	12	150		5	0,060
	284		Normatiivne omakaalukoormus :		0,479

2.2 Lumekoormus

Lumekoormuste arvutustel on aluseks võetud standard: EVS-EN 1991-1-3:2006+A1:2016+NA:2016. Eurokoodeks 1: Ehituskonstruksioonide koormused Osa 1-3: Üldkoormused. Lumekoormus.

Alalise arvutusolukorra puhul kasutatakse katusele mõjuva lume normatiivse koormuse arvutamiseks valemit:

$$s = \mu_i C_e C_t s_k \quad (2.1)$$

kus μ_i – lumekoormus kujutegur,

s_k – normatiivne lumekoormus maapinnal, (kN/m²)

C_e – avatustegur,

C_t – soojustegur.

Rahvusliku lisa juhise järgi $C_e = 1,0$. Väljaarvatud juhtudel kui on antud konkreetse maastiku puhul teine väärtus.

Samuti üldjuhtudel $C_t = 1,0$.

Tegemist on kolmekümne kraadise kaldkatusega, seega võetakse standardi järgi lumekoormuse kujuteguriks $\mu_i = 0,8$.

Projekteeritav hoone asub Kanaveres, kus lumekoormuse kaardi alusel on normatiivne lumekoormus maapinnal $s_k = 1,5$ kN/m².

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

2.3 Tuulekoormus

Tuulekoormuste leidmisel lähtuti standardi EVS-EN 1991-1-4:2005+NA:2007 Eurokoodeks 1: Ehituskonstruksioonide koormused. Osa 1-4: Üldkoormused. Tuulekoormus. juhistele.

Tuulekoormus on muutuvkoormus. Selle intensiivsust mõjutab hoone asukoht, asend, kõrgus kui ka kuju. Tuulekoormust arvestatakse pinna normaali suunas. [4, lk 32]

Lähteandmed:

Katuse kalle 30°

Hoone asukoht Kanavere, Harjumaa

Maastikutüüp II

Tuulerõhk pindadele leiti valemiga:

$$w_e = q_p(Z_e)c_{pe} \quad (2.2)$$

kus q_p – kiirusrõhk, (N/m²),

Z_e – arvutuskõrgus,

c_{pe} – välisrõhu rõhutegur.

Leiame kiirusrõhu II maastikutüübi korral valemiga kõrgusel z:

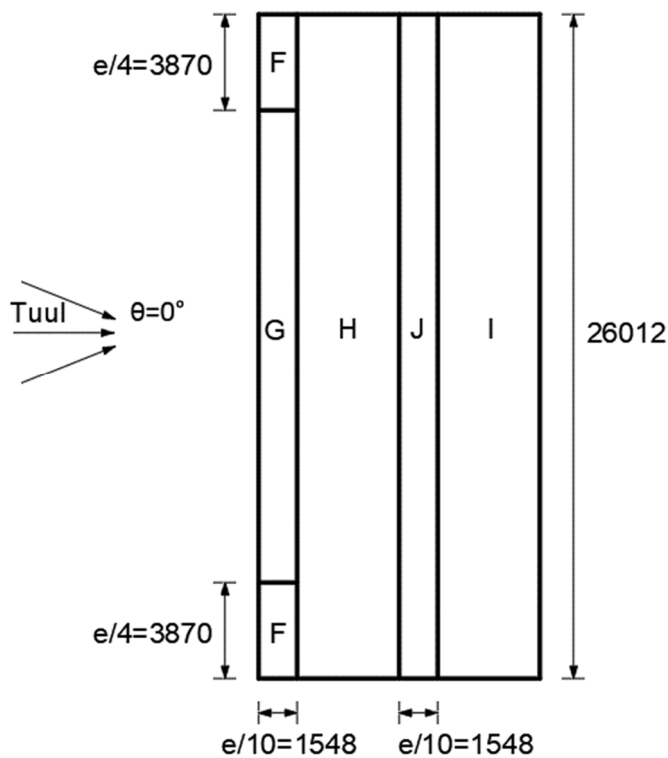
$$q_p = 9.96ln^2 \frac{z}{0.05} + 69.75ln \frac{z}{0.05} = 9.96ln^2 \frac{7.80}{0.05} + 69.75ln \frac{7.80}{0.05} = 606.22 \frac{N}{m^2} = 0.606 \frac{kN}{m^2} \quad (2.3)$$

Tuulerõhukoormus katusele

Leiti vastavalt standardile [5] kahekaldelise katuse koormustsoonid. Tsoonid kujutatud joonistel 2.1 ja 2.2.

Tuule suund $\theta=0^\circ$ ja $\theta=180^\circ$

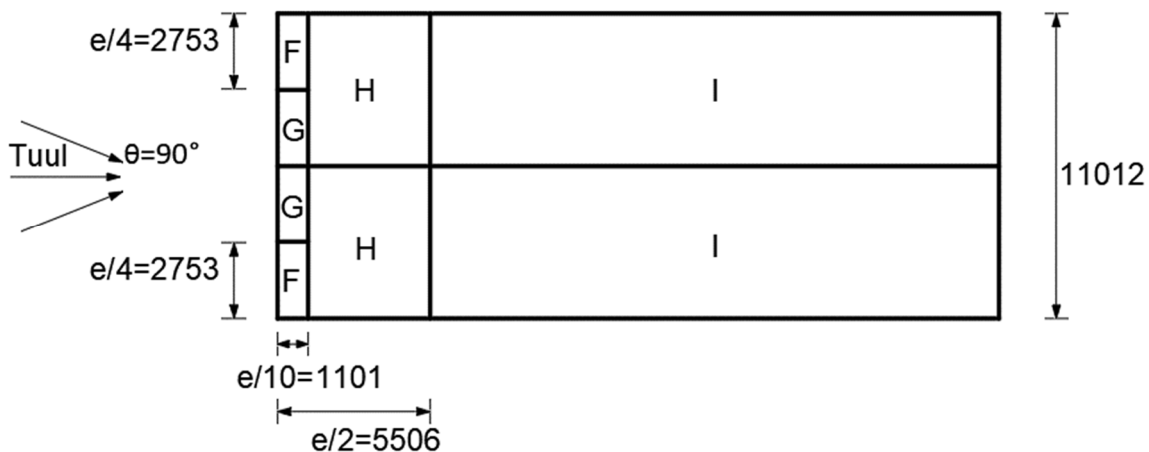
$$e = \min \left\{ \begin{array}{l} b = 26,012 \text{ m} \\ 2 \cdot h = 2 \cdot 7,74 = 15,48 \text{ m} \end{array} \right. \quad (2.4)$$



Joonis 2.1 Katuse koormustsoonid risti hoonet (mm)

Tuule suund $\theta=90^\circ$ ja $\theta=270^\circ$

$$e = \min \begin{cases} b = 11,012m \\ 2 \cdot h = 2 \cdot 7,74 = 15,48m \end{cases}$$



Joonis 2.2 Katuse koormustsoonid piki hoonet (mm)

Standardist [5, tabel 7.4a ja 7.4b] annab välisrõhutegurid kahekaldelisele katusele. Nende abil on arvatud Tabel 2.3 katusele mõjuvad koormused.

Tabel 2.3 Katusele mõjuvad tuulekoormused

Katuse kaldenurk	Tsoonid tuule suunale $\theta=0^\circ$ (risti)				
	F	G	H	I	J
30°	-0,5	-0,5	-0,2	-0,4	-0,5
	+0,7	+0,7	+0,4	+0,0	+0,0
$w_e \left(\frac{kN}{m^2}\right)$	-0,303	-0,303	-0,121	-0,242	-0,303
	0,424	0,424	0,242	0,000	0,000
Katuse kaldenurk	Tsoonid tuule suunale $\theta=90^\circ$ (pikki)				
	F	G	H	I	
30°	-1,1	-1,4	-0,8	-0,5	
$w_e \left(\frac{kN}{m^2}\right)$	-0,667	-0,848	-0,485	-0,303	

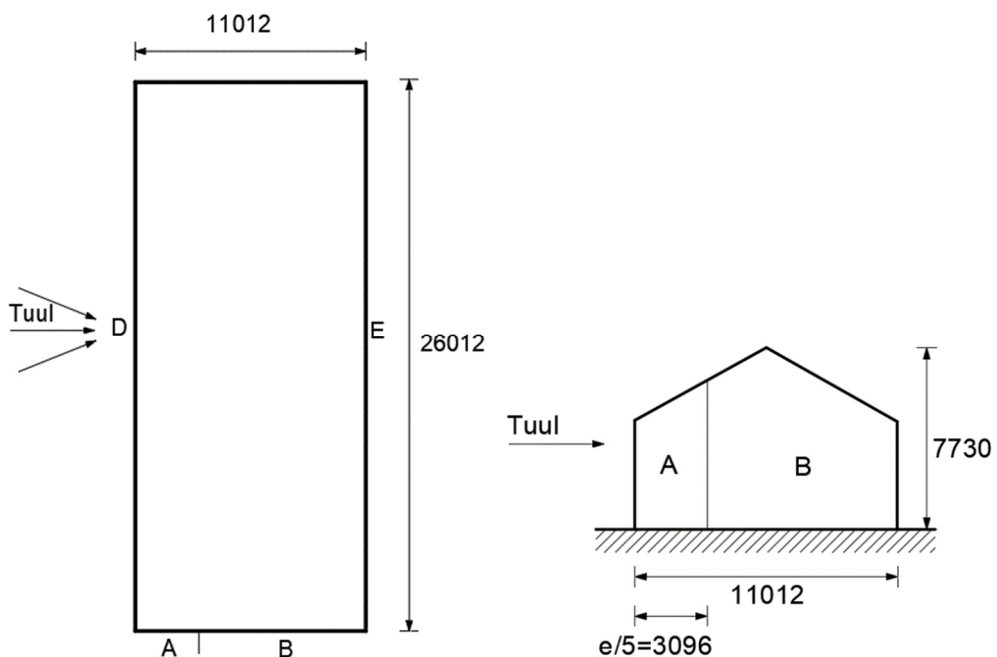
Tuulerõhukoormus seintele

Seinad risti hoonet. Tuule suund $\theta=0^\circ$ ja $\theta=180^\circ$

$$z_e = \frac{h}{d} = \frac{7740}{11012} = 0,702 \quad (2.5)$$

$$e = \min \begin{cases} b = 26012m \\ 2 \cdot h = 2 \cdot 7,74 = 15,48m \end{cases}$$

Tsoonid joonisel 2.3, kui $e \geq d$ [5]



Joonis 2.3 Seinad koormustsoonid risti hoonet (mm)

Välisrõhu tegurid leiti standardist tabel 7.1 järgi interpoleerides [5]. Nende põhjal arvutati tuulekoormused risti hoonet Tabel 2.4.

Tabel 2.4 Seintele mõjuvad tuulekoormused risti hoonet

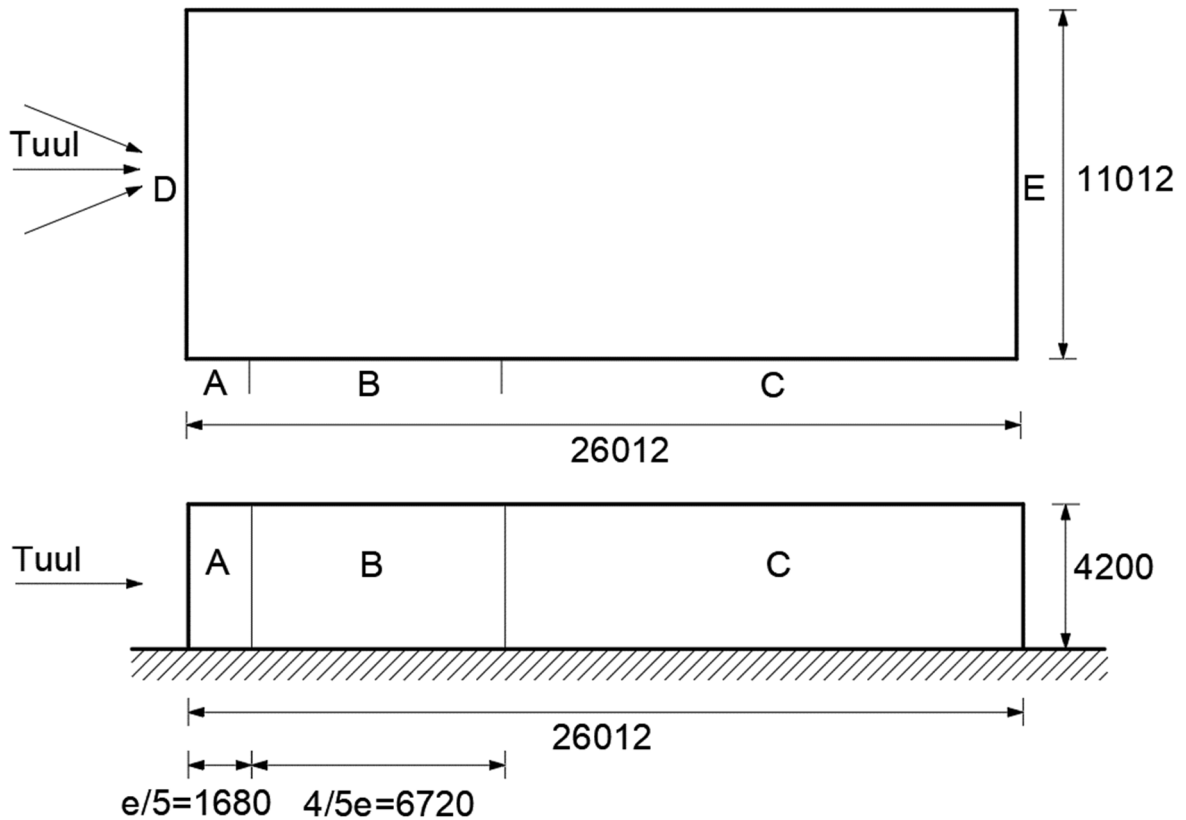
	h/d	A	B	C	D	E
$C_{pe,10}$	1	-1,2	-0,8	-0,5	0,8	-0,5
	0,702	-1,2	-0,8	-0,5	0,76	-0,42
	0,25	-1,2	-0,8	-0,5	0,7	-0,3
$w_e \left(\frac{kN}{m^2} \right)$		-0,727	-0,485	-0,303	0,461	-0,255

Seinad piki hoonet. Tuule suund $\theta=90^\circ$ ja $\theta=270^\circ$

$$z_e = \frac{h}{d} = \frac{4200}{26012} = 0,161$$

$$e = \min \begin{cases} b = 11,012 \text{ m} \\ 2 \cdot h = 2 \cdot 4,20 = 8,4 \text{ m} \end{cases}$$

Tsoonid joonisel 2.4, kui $e < d$ [5]



Joonis 2.4 Seina koormustsoonid piki hoonet (mm)

Tabel 2.5 Seintele mõjuvad tuulekoormused piki hoonet

	h/d	A	B	C	D	E
$C_{pe,10}$	$\leq 0,25$	-1,2	-0,8	-0,5	+0,7	-0,3
$w_e \left(\frac{kN}{m^2} \right)$		-0,727	-0,485	-0,303	0,424	-0,182

Koormuskombinatsioonid

Koormuskombinatsioonide eesmärk on leida ohtlikemad koormused ja nende koosmõju konstruktsioonile. Igas kombinatsioonis on üks domineeriv muutuvkoormus. Vastavalt sellele, kas koormusel on soodne või ebasoodne mõju valitakse varutegur (vt Tabel 2.6). Mittedomineerivaid kuid samal ajal mõjuvaid muutuvkoormusi korrutatakse lisaks osavarutegurile veel läbi koormuse mõju vähendava kombinatsiooni teguriga (vt Tabel 2.7).

Koormuskombinatsioonide üldvalem [6] on:

$$\sum_{J \geq 1} \gamma_{G,J} G_{k,j} + \gamma_p P + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \Psi_{0,i} Q_{k,j} \quad (2.6)$$

Koormuste osavarutegurid

Koormuste osavarutegurid kandevõimepiirseisundi kombinatsiooni jaoks standardist EVS-EN 1990:2002 + NA:2002. Tegurid on rahvusliku lisa tabelist NA.1.2(B)

Tabel 2.6 Koormuse osavarutegurid

Alaliskoormuse ebasoodne mõju	$\gamma_{Gj,sup}$	1,2
Alaliskoormuse soodne mõju	$\gamma_{Gj,inf}$	1
Muutuvkoormuse ebasoodne mõju	$\gamma_{Q,1}$	1,5
Muutuvkoormuse soodne mõju	$\gamma_{Q,1}$	0

Kasutuspiirseisundis tuleb standardi järgi osavaruteguriks võtta 1,0 [4]

Kombinatsioonitegurid

Tabel 2.7 kombinatsioonitegurid

Koormus	ψ_0	ψ_1	ψ_2
Kasuskoormus (Klass C)	0,7	0,7	0,6
Lumekoorumus	0,5	0,2	0
Tuulekoormus	0,6	0,2	0

Kandepiirseisund (ULS)

- KK1 Omakaal + katusekoormus* 1,35
- KK2 Omakaal + katusekoormus* 1,2 + tuul vasakult* 1,5
- KK3 Omakaal + katusekoormus* 1,2 + tuul paremalt* 1,5
- KK4 Omakaal + katusekoormus* 1,2 + tuul otsast* 1,5

- KK5 Omakaal + katusekoormus* 1,2 + lumi ühtlane* 1,5
- KK6 Omakaal + katusekoormus* 1,2 + tuul otsast* 1,5+ tuul vasakult * 1,5*0,6
- KK7 Omakaal + katusekoormus* 1,2 + lumi vasak* 1,5 + tuul vasakult * 1,5*0,6
- KK8 Omakaal + katusekoormus* 1,2 + tuul otsast* 1,5 + lumi ühtlane 1,5* 0,5
- KK9 Omakaal + katusekoormus* 1,2 + lumi ühtlane* 1,5+tuul vasakult *1,5*0,6

Kasutuspiiriseisund (SLS)

- KK10 Omakaal + katusekoormus* 1,0
- KK11 Omakaal + katusekoormus* 1,0 + lumi ühtlane* 1,0
- KK12 Omakaal + katusekoormus* 1,0+ lumi vasak* 1,0 + tuul vasakult*1,0*0,6

3. KONSTRUKTSIOONIDE ARVUTUS

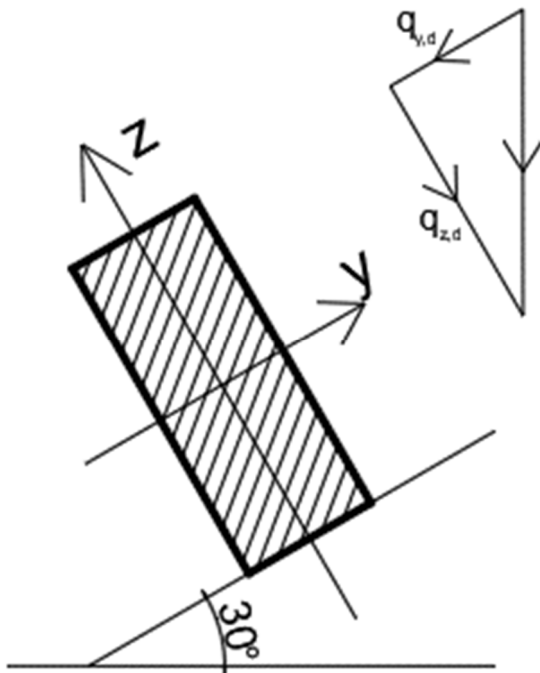
3.1 Abitala arvutus

Lihttalana töötav roov GL28h 80x200mm töötab vildakpainele. Talle mõjub pealmiste katusekihtide, lume kui ka tuulekoormus. Jõudude jaotusmisskeem joonisel 3.1. Arvutused on tehtud järgides EVS-EN 1995-1-1:2005 standardit.

Vildakpaine korral tuleb rahuldada järgmisi tingimusi: [7]

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_{mod} \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad (3.1)$$

$$k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad (3.2)$$



Joonis 3.1 Vildakpaine jõud

Pealmiste katusekihtide normkoormus $G_k = 0,378 \frac{kN}{m^2}$

Normatiivne lumekoormus $s = 1,2 \frac{kN}{m^2}$

Maksimaalne katusele mõjuv tuulerõhk $w_e = 0,424 \frac{kN}{m^2}$

$$Q_k = s + w_e = 1,624 \frac{kN}{m^2}$$

Katusekalle 30° ja sille kahe toetava raamtala vahel on 5 meetrit.

Arvutuslikud talale mõjuvad koormused:

$$\begin{aligned} q_{z,d} &= S \cdot \cos(\alpha) \cdot (\gamma_G \cdot G_k + \gamma_Q \cdot Q_k) = 0,6 \cdot \cos 30^\circ (1,2 \cdot 0,383 + 1,5 \cdot 1,624) \\ &= 1,501 kN \end{aligned} \quad (3.3)$$

$$\begin{aligned} q_{y,d} &= S \cdot \sin(\alpha) \cdot (\gamma_G \cdot G_k + \gamma_Q \cdot Q_k) = 0,6 \cdot \sin 30^\circ (1,2 \cdot 0,383 + 1,5 \cdot 1,624) \\ &= 0,867 kN \end{aligned} \quad (3.4)$$

$$k_h = \min \left[\left(\frac{600}{h} \right)^{0,1}, 1,1 \right] = \left[\left(\frac{600}{200} \right)^{0,1}, 1,1 \right] = 1,1 \quad (3.5)$$

$$f_{m,y,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{m,k}}{\gamma_M} = 17,82 \frac{N}{mm^2} \quad (3.6)$$

$$f_{m,z,d} = k_{mod} \cdot k_h \cdot \frac{f_{m,k}}{\gamma_M} = 19,60 \frac{N}{mm^2} \quad (3.7)$$

kus $k_{mod}=0,9$

Maksimaalsed paindemomendid sildeavas:

$$M_{y,d} = 0,125 \cdot q_{z,d} \cdot l^2 = 0,125 \cdot 1,505 \cdot 5^2 = 4,69 kNm \quad (3.8)$$

$$M_{z,d} = 0,125 \cdot q_{y,d} \cdot l^2 = 0,125 \cdot 0,869 \cdot 5^2 = 2,71 kNm$$

Arvutuslikud paindepinged peatelgede suhtes:

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d} \cdot 10^6 \cdot 6}{b \cdot h^2} = \frac{4,71 \cdot 10^6 \cdot 6}{80 \cdot 200^2} = 8,79 \frac{N}{mm^2} \quad (3.9)$$

$$\sigma_{m,z,d} = \frac{M_{z,d} \cdot 10^6 \cdot 6}{h \cdot b^2} = \frac{2,72 \cdot 10^6 \cdot 6}{200 \cdot 80^2} = 12,70 \frac{N}{mm^2}$$

Kontrollin kandevõime tingimusi valemite (3.1) ja (3.2) abil.

$$\frac{8,82}{17,82} + 0,9 \frac{12,72}{19,60} = 0,838 < 1$$

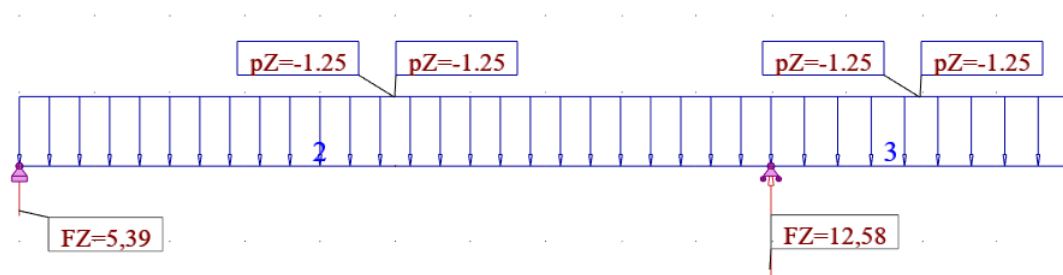
$$0,7 \frac{8,82}{18} + \frac{12,72}{19,60} = 0,849 < 1$$

Tugevustingimused on täidetud.

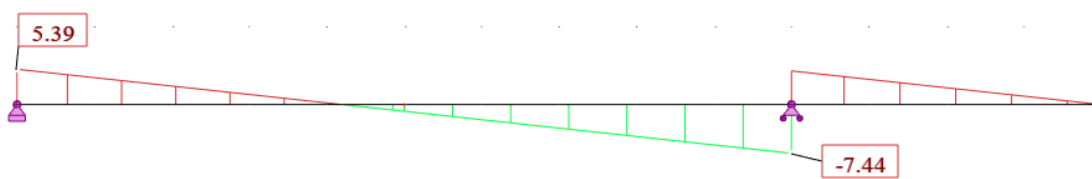
3.2 Vahelae talade dimensioneerimine

Antud lõputöö eesmärk ei olnud arvutada vahelae konstruktsioone, seega tehti vahelae talade ja selle kandva peatala konstruktsiooni arvutus ülevaatlikult. Arvutusprogrammiga leitud tulemused aitasid planeerida edaspidist arhitektuurset lahendust. Konstruktori käsiraamatu järgi kasuskoormus ruumidele, mida kasutatakse kaubaruumide ladustamiseks (D2), on $q_k=5\text{kN/m}^2$ ja rõdudele $2,5\text{ kN/m}^2$. Ruumiklass valiti selle järgi, kuna tegu pole tööstusliku laopinnaga, kuid siiski planeeritakse seal hoida raamatuid ja muid tarbeasju. Kasuskoormus jagati kaheks osaks. Pool sellest pikaajaline ja pool keskkestev koormus, arvestades ruumi kasutust. Koormuskeem asub joonisel 3.2. Talade samm $0,5$ meetrit.

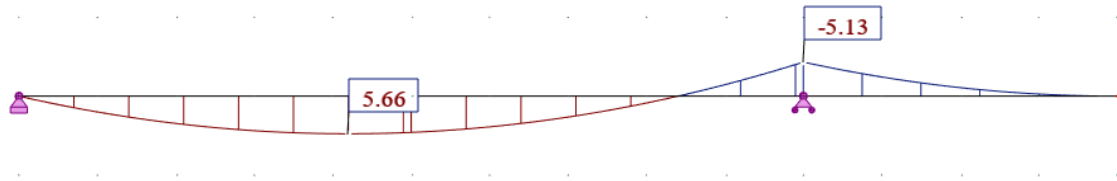
Vahelae talale mõjuv omakaal on $0,419\text{ kN/m}^2$.



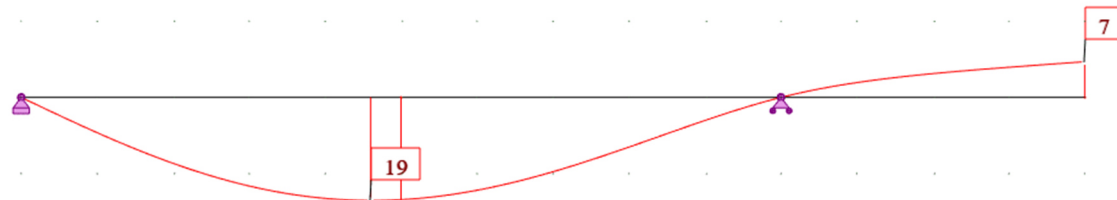
Joonis 3.2 Vahelae tala koormuskeem (kN)



Joonis 3.3 Vahelae tala põikjõu epüür (kN)



Joonis 3.4 Vahelae tala paindemomendi epüür (kNm)



Joonis 3.5 Vahelae tala deformatsiooni skeem (mm)

Vahelae taladeks valiti liimpuittala GL 28h ristlõikega 80x200 mm. Valitud tala ristlõike kontrolli leiab lisadest Lisa 5 Vahelae tala arvutused .

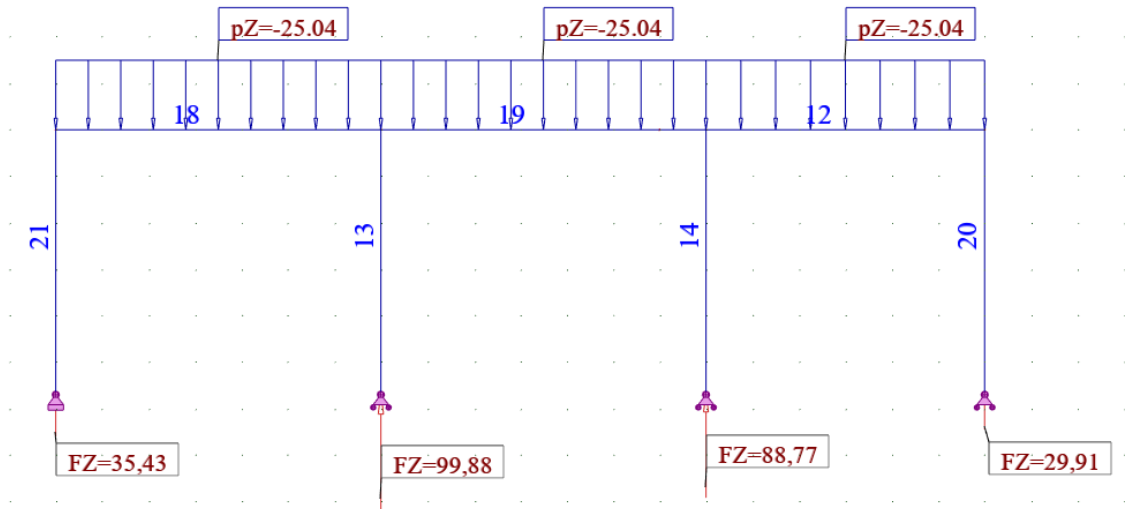
Standardi järgi on tala lubatud piirläbipaine $w_{fin} = l/150 - l/300$ [7]. Antud tala puhul võeti piirläbipaindeks $w_{fin} = l/200$.

Vahelae talade dimensioneerimine tehti ARSAP programmiga. Omakaalu ja kaskoormuse mõjul arvutusprogrammi alusel on läbipaine 19 mm, mis on väiksem kui maksimaalne lubatud läbipaine 25mm. Koormustest põhjustatud sisejõud kujutatud ülal olevatel joonistel 3.3 ja 3.4.

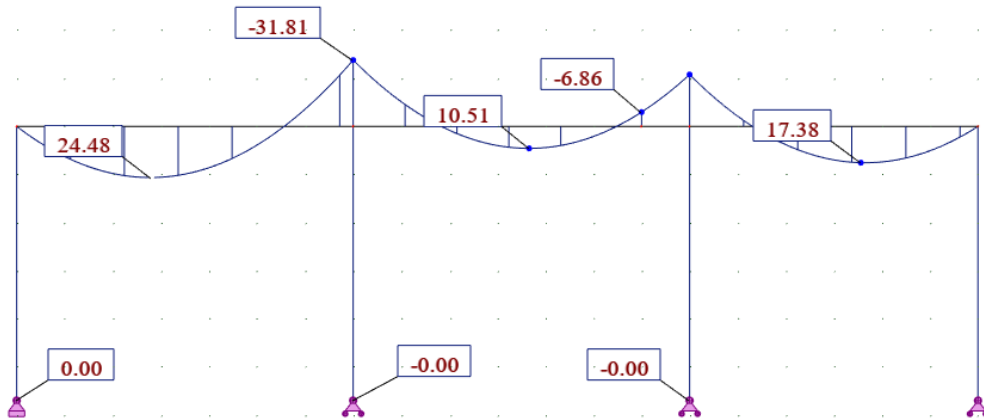
3.3 Vahelae peatala ja postid

Hoonet läbivate kandvate seinte puudumise tõttu tuli vahelae talade kandmiseks planeerida hoonet risti läbiv kande peatala ja postid. See tala töötab jätkuvtalana. Talale mõjub vahelaetalal teise toe toereaktsioon 25,04kN ja peatala omakaal (vt. Joonis 3.6).

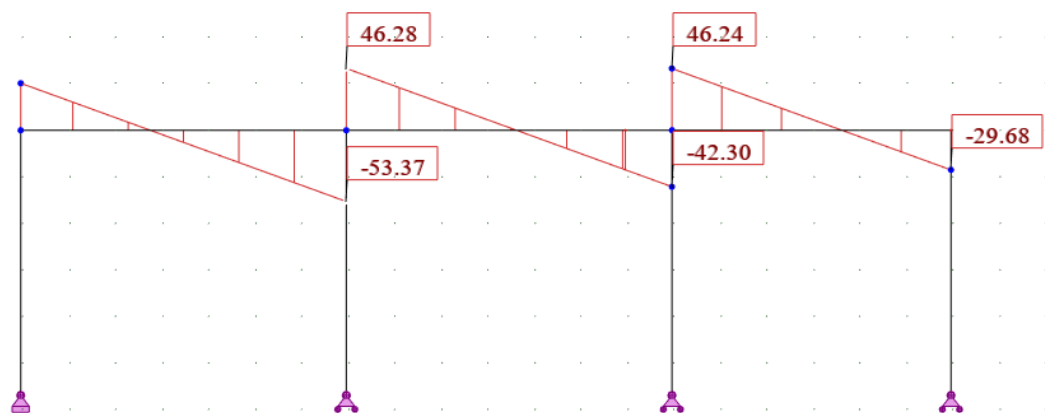
Tala ristlõikeks sobis programmiga ARSAP dimensioneerides GL28h 200x320mm. Sisejõudude epüürid ja deformatsioonid joonistel 3.7, 3.8 ja 3.10. Postid võtavad vastu vaid pikijõudusid (vt Joonis 3.9). Sobivaks ristlõikeks sobis GL28h 140x140. Arvutusfailide väljavõtted lisas lk 85 ja 87.



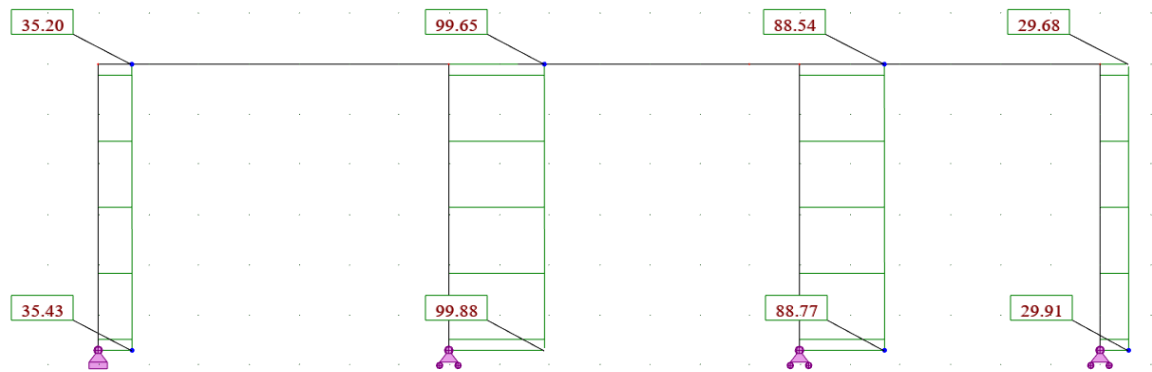
Joonis 3.6 Vahelae peatala koormuskeem (kN)



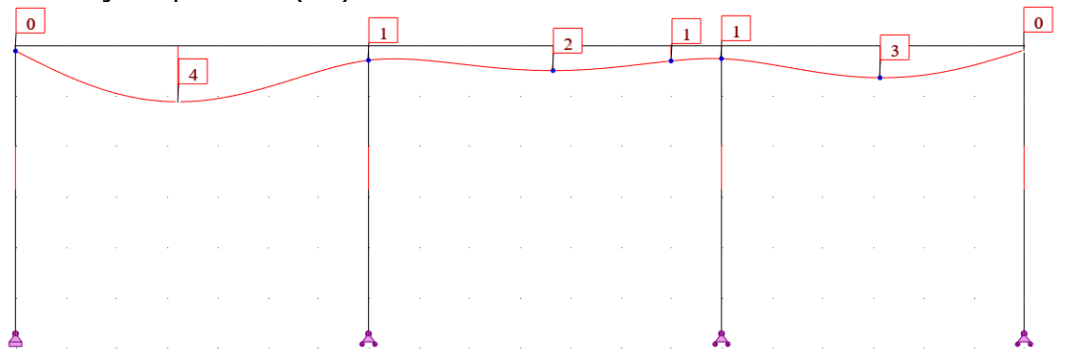
Joonis 3.7 Vahelae peatala paindemomendi epüür (kNm)



Joonis 3.8 Vahelae peatala põikjõu epüür (kN)



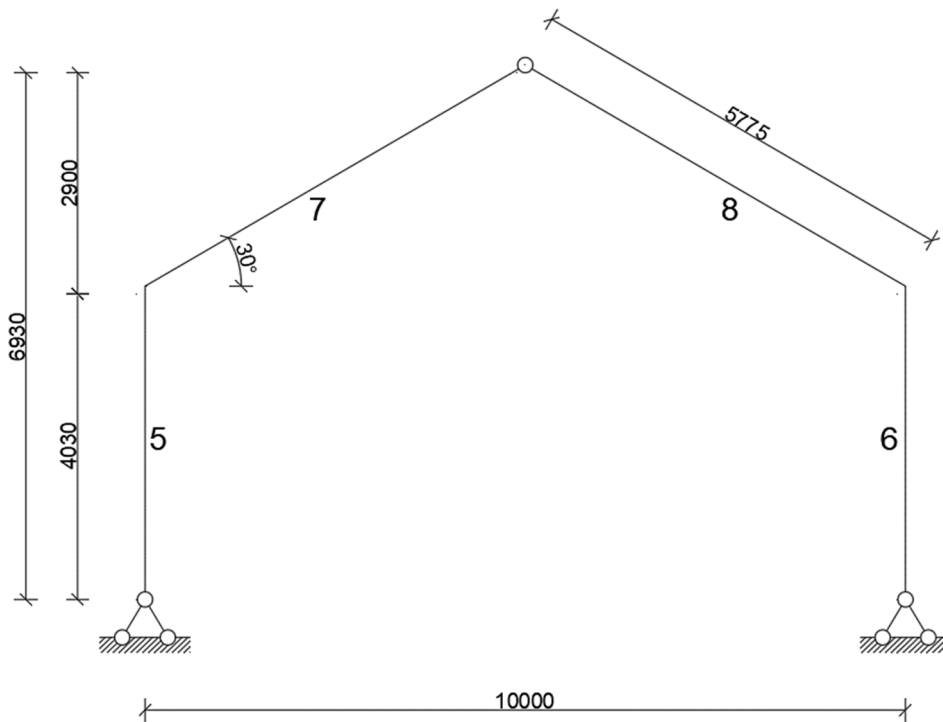
Joonis 3.9 Pikijõud postides (kN)



Joonis 3.10 Vahelae peatala deformatsioonid (mm)

3.4 Raami arvutus

Hoone kandekonstruktsiooniks on liimpuidust GL28h portaalraam. Mõõdud on märgitud skeemile (Joonis 3.11). Tegu on kolme liigendiga raamkonstruktsiooniga. Arvutused on tehtud soovituslikult koormuskombinatsioon 9-ga, mil mõjub korruga konstruktsioonile alalinekoormus, domineeriv lumekoormus ja tuul. [8] Kuna põhupaneelide soklikinnitus võtab poole tuulekoormusest enda kanda, siis on arvestatud posti nurgasõlme pool seinale mõjuvast tuulekoormusest. Ökonoomsema tulemuse leidmiseks lahendati raami nurgasõlm kahel erineval viisil.



Joonis 3.11 Portaalraami arvutuskeem (mm)

GL 28h tugevusnäitajad ja arvutustes kasutatavad tegurid [6]

Paindetugevus	$f_{m,g,k}=28 \text{ N/mm}^2$
Tõmbetugevus	$f_{t,0,g,k}=22,3 \text{ N/mm}^2$
Tõmbetugevus	$f_{t,90,g,k}=0,5 \text{ N/mm}^2$
Survetugevus	$f_{c,0,g,k}=28 \text{ N/mm}^2$
Survetugevus	$f_{c,90,g,k}=2,5 \text{ N/mm}^2$
Nihketugevus	$f_{v,g,k}=3,5 \text{ N/mm}^2$
Külgnihketugevus	$f_{r,g,k}=1,2 \text{ N/mm}^2$
Elastsusmoodul	$E_{0,g,\text{mean}}=12600 \text{ N/mm}^2$
Elastsusmoodul	$E_{0,g,05}=10500 \text{ N/mm}^2$
Nihkemoodul	$G_{g,\text{mean}}=650 \text{ N/mm}^2$
Külgnihkemoodul	$G_{r,g,\text{mean}}=65 \text{ N/mm}^2$
Tihedus	$\rho_k= 425 \text{ kg/m}^3$
Modifikatsioonitegur	$k_{\text{mod}}=1,1$
Elemendi osavarutegur	$\gamma_{M,e}=1,25$
Liite osavarutegur	$\gamma_{M,c}=1,3$

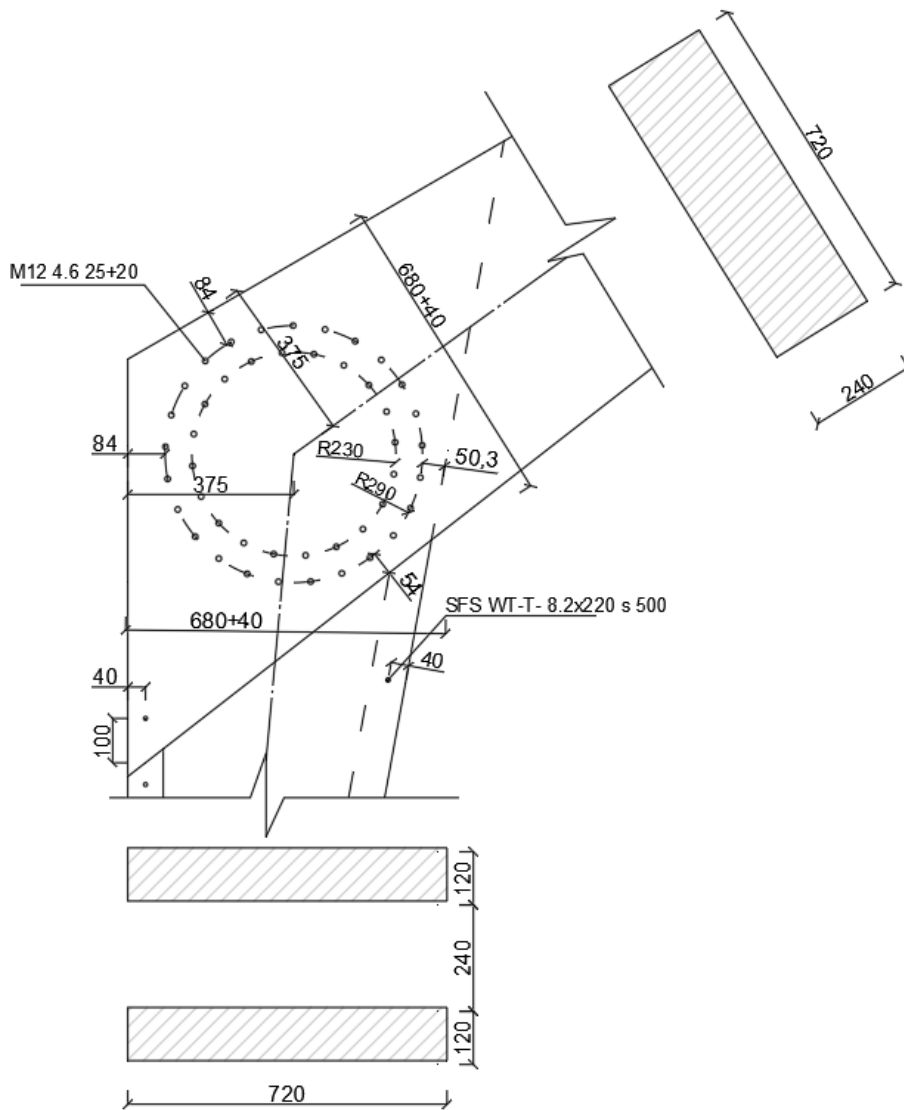
Poldid: [6]

M16 tugevusklass 8.8	$f_{ub}=800 \text{ N/mm}^2$
M12 tugevusklass 4.6	$f_{ub}=400 \text{ N/mm}^2$

3.5 Portaalraam variant 1

Esimese arvutusvariandi puhul kasutati nurgasõlmes poltühendust (vt. Joonis 3.12). Tegu on ühe levinuima raami sõlme konstrueerimisviisiga. Selleks, et see võimalik oleks, kasutatakse topelt ristlõikega posti ja riivi. [9]

3.5.1 Nurgasõlme arvutus poltidega



Joonis 3.12 Nurgasõlm (mm)

Nurgasõlme arvutuses kontrolliti poltidele mõjuvat koormust ja nende kandevõimet. Poldid paigutati ellipsjoonele, kuna see on kõige ratsionaalsem asend, et koormus

jaotuks nende vahel kõige ühtlasemalt. [8] Tehtud on parempoolse posti arvutused, kuna sellele postile mõjuvad suuremad jõud.

KK9 järgi mõjuvad posti 6 (vt Joonis 3.11) nurgasõlmes jõud tugevusega:

$$V_p = 72,21 \cdot 10^3 \text{ N} \quad N_p = 29,00 \cdot 10^3 \text{ N} \quad M_p = 116,87 \cdot 10^3 \text{ Nm}$$

$$t_1 = 120 \text{ mm} \quad t_2 = 240 \text{ mm} \quad h = 680 \text{ mm}$$

Varasemalt märgitud ristlõike kõrgus 680 mm kasutatakse järgnevas arvutustes, et leida poldide asetus nii, et mittekoormatud servast oleks polt minimaalselt 4d kaugusel. Tegelik ristlõike kõrgus on 720 mm, et koormatud servadest oleks poldi kaugus 7d.

Leiti poldiringide raadiused:

$$r_1 = 0,5 \cdot h - 4 \cdot d = 0,5 \cdot 640 - 4 \cdot 16 = 292 \text{ mm} \quad (3.10)$$

Välimiseks raadiuseks valiti 290 mm

$$r_2 = r_1 - 5 \cdot d = 292 - 5 \cdot 16 = 232 \text{ mm} \quad (3.11)$$

Sisemiseks raadiuseks valiti 230 mm

Maksimaalne poldide arv välimises ringis, kui poldide minimaalne vahe on 6d:

$$n_1 = \frac{2 \cdot \pi \cdot r_1}{6 \cdot d} = \frac{2 \cdot \pi \cdot 292}{6 \cdot 12} = 25,48 \approx 25 \text{ tk} \quad (3.12)$$

Maksimaalne poldide arv sisemises ringis:

$$n_2 = \frac{2 \cdot \pi \cdot r_2}{6 \cdot d} = \frac{2 \cdot \pi \cdot 232}{6 \cdot 12} = 20,25 \approx 20 \text{ tk} \quad (3.13)$$

Momendist põhjustatud koormus poldile:

$$F_M = \frac{r_1}{n_1 r_1^2 + n_2 r_2^2} \cdot M_p = \frac{290}{25 \cdot 290^2 + 20 \cdot 230^2} \cdot 116,9 \cdot 10^6 = 10,64 \cdot 10^3 \text{ N} \quad (3.14)$$

Post:

Posti pöikjõust põhjustatud koormus poldile:

$$F_{V,p} = \frac{V_p}{n_1+n_2} = \frac{72,07 \cdot 10^3}{25+20} = 1,6 \cdot 10^3 \text{ N} \quad (3.15)$$

Posti pikijõust põhjustatud koormus poldile:

$$F_{N,p} = \frac{N_p}{n_1+n_2} = \frac{28,97 \cdot 10^3}{25+20} = 0,6 \cdot 10^3 \text{ N} \quad (3.16)$$

Postilt tulenevate jõudude mõju poldile kokku:

$$F_{d,p} = \sqrt{(F_M + F_{V,p})^2 + F_{N,p}^2} = \sqrt{(10,64 \cdot 10^3 + 1,6 \cdot 10^3)^2 + (0,6 \cdot 10^3)^2} \quad (3.17)$$

$$= 12,26 \cdot 10^3 \text{ N}$$

$$V_M = \left[\frac{M_p}{\pi} \cdot \frac{n_1 r_1 + n_2 r_2}{n_1 r_1^2 + n_2 r_2^2} \right] = \left[\frac{116,87 \cdot 10^3}{\pi} \cdot \frac{25 \cdot 290 + 20 \cdot 230}{25 \cdot 290^2 + 20 \cdot 230^2} \right] = 138,5 \cdot 10^3 \text{ N} \quad (3.18)$$

Maksimaalne lõikejõud liites:

$$F_{V,d} = V_M - \frac{V_p}{2} = 138,2 \cdot 10^3 - \frac{72,07 \cdot 10^3}{2} = 102,4 \cdot 10^3 \text{ N} \quad (3.19)$$

Kontrolliti puit-puiduga liite kandevõimet.

Muljumistugevus pikikiudu:

$$f_{h,0,d} = \frac{k_{mod}}{\gamma_M} 0,082(1 - 0,01d)\rho_k = \frac{0,9}{1,25} 0,082(1 - 0,01 \cdot 12) \cdot 425 \quad (3.20)$$

$$= 22,1 \text{ N/mm}^2$$

Leitud k_{90} arvestades, et tegu okaspuuga [7].

$$k_{90} = 1,35 + 0,015 \cdot d = 1,35 + 0,015 \cdot 12 = 1,53 \quad (3.21)$$

Jõu ja puiduki vaheline nurk:

$$\alpha_1 = \arctan[(F_M + F_{V,p})/F_{N,p}] = \arctan[(10,64 \cdot 10^3 + 1,6 \cdot 10^3)/0,6 \cdot 10^3] \quad (3.22)$$

$$= 87,0^\circ$$

$$\alpha_2 = \alpha_1 - \frac{\pi}{2} + 13,5 = 87,0^\circ - \frac{\pi}{2} + 13,5 = 10,5^\circ \quad (3.23)$$

Muljumistugevused arvestades eelnevalt leitud nurkasid:

$$f_{h,1,d} = \frac{f_{h,0,d}}{k_{90}(\sin(\alpha_1))^2 + (\cos(\alpha_1))^2} = \frac{22,1}{1,53 \cdot (\sin(87,0^\circ))^2 + (\cos(87,0^\circ))^2} \quad (3.24)$$

$$= 13,90 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{h,2,d} = \frac{f_{h,0,d}}{k_{90}(\sin(\alpha_2))^2 + (\cos(\alpha_2))^2} = \frac{22,1}{1,53 \cdot (\sin(10,5^\circ))^2 + (\cos(10,5^\circ))^2} = 21,66 \text{ N/mm}^2$$

$$\beta = \frac{f_{h,2,k}}{f_{h,1,k}} = \frac{21,66}{13,90} = 1,56 \quad (3.25)$$

Voolavuspiirile vastav poldi paindemoment, kui $f_{u,k} = 400 \text{ N/mm}^2$:

$$M_{y,Rk} = 0,3 \cdot f_{u,k} \cdot d^{2,6} = 0,3 \cdot 400 \cdot 12^{2,6} = 76745 \text{ N} \quad (3.26)$$

Leiti kahelõikelise puitpuiduga liite ühe nihkepinna kandevõime :

$$F_{v,Rd} = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{f_{h,1,k} t_1 d}{0,5 f_{h,2,k} t_2 d} \\ 1,05 \frac{f_{h,1,k} t_1 d}{2 + \beta} \left[\sqrt{2\beta(1 + \beta) + \frac{4\beta(2 + \beta)M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} \cdot d \cdot t_1^2}} - \beta \right] \\ 1,15 \cdot \sqrt{\frac{2\beta}{1 + \beta}} \sqrt{2M_{y,Rk} f_{h,1,k} d} \end{array} \right. \quad (3.27)$$

$$F_{v,Rd} = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{13,9 \cdot 120 \cdot 12 = 20016}{0,5 \cdot 21,66 \cdot 240 \cdot 12 = 31190} \\ 1,05 \frac{13,9 \cdot 120 \cdot 12}{2 + 1,56} \left[\sqrt{2 \cdot 1,56(1 + 1,56) + \frac{4 \cdot 1,56(2 + 1,56)76,7 \cdot 10^3}{21,66 \cdot 12 \cdot 120^2}} - 1,56 \right] = 8199 \\ 1,15 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 1,56}{1 + 1,56}} \sqrt{2 \cdot 76,7 \cdot 10^3 \cdot 13,90 \cdot 12} = 6422 \end{array} \right.$$

$$F_{v,Rd} = 6,42 \cdot 10^3 \text{ N}$$

Kahe lõikepinna kandevõime on suurem, kui postilt tulenevad jõud.

$$R_{j,d} = 2 \cdot 6,42 \cdot 10^3 = 12,84 \cdot 10^3 \text{ N} > F_{d,p} = 12,84 \cdot 10^3 \text{ N}$$

Riiv:

KK9 järgi mõjuvad riivi nurgasõlmes jõud tugevusega:

$$V_r = 49,07 \cdot 10^3 \text{ N} \quad N_r = 59,32 \cdot 10^3 \text{ N} \quad M_r = 116,87 \cdot 10^3 \text{ Nm}$$

Riivi põikjõust põhjustatud koormus poldile leitakse valemiga (3.15).

$$F_{V,r} = \frac{V_r}{n_1 + n_2} = \frac{49,07 \cdot 10^3}{25 + 20} = 1,1 \cdot 10^3 \text{ N}$$

Riivi pikijõust põhjustatud koormus poldile leitakse valemiga (3.16).

$$F_{N,r} = \frac{N_r}{n_1 + n_2} = \frac{59,32 \cdot 10^3}{25 + 20} = 1,3 \cdot 10^3 \text{ N}$$

Riivilt tulevate jõudude mõju poldile kokku leitakse valemiga (3.17).

$$F_{d,r} = \sqrt{(F_M + F_{V,r})^2 + F_{N,r}^2} = \sqrt{(10,64 \cdot 10^3 + 1,1 \cdot 10^3)^2 + (1,3 \cdot 10^3)^2} = 11,8 \cdot 10^3 \text{ N}$$

Maksimaalne lõikejõud liites kasutades valemit (3.19).

$$F_{V,d} = V_M - \frac{V_r}{2} = 138,4 \cdot 10^3 - \frac{49,07 \cdot 10^3}{2} = 113,9 \cdot 10^3 \text{ N}$$

Kontrollitakse puit-puiduga liite kandevõimet.

Jõu ja puidukiu vaheline nurk leitakse varasemalt kasutatud valemitele (3.22) ja (3.23).

$$\alpha_1 = \arctan[(F_M + F_{V,r})/F_{N,r}] = \arctan[(10,6 \cdot 10^3 + 1,8 \cdot 10^3)/2,2 \cdot 10^3] = 83,6^\circ$$

$$\alpha_2 = \alpha_1 - \frac{\pi}{2} + 13,5 = 83,6^\circ - \frac{\pi}{2} + 13,5 = 7,1^\circ$$

Muljumistugevused arvestades eelnevalt leitud nurgaga leitakse valemiga (3.24).

$$f_{h,1,d} = \frac{f_{h,0,d}}{k_{90}(\sin(\alpha_1))^2 + (\cos(\alpha_1))^2} = \frac{22,1}{1,53 \cdot (\sin(83,6^\circ))^2 + (\cos(83,6^\circ))^2} = 14,0 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{h,2,d} = \frac{f_{h,0,d}}{k_{90}(\sin(\alpha_2))^2 + (\cos(\alpha_2))^2} = \frac{22,1}{1,53 \cdot (\sin(7,1^\circ))^2 + (\cos(7,1^\circ))^2} = 21,9 \text{ N/mm}^2$$

$$\beta = \frac{f_{h,2,d}}{f_{h,1,d}} = \frac{21,9}{14,0} = 1,56$$

Leitakse kahelõikelise puitpuiduga liite kandevõime valemiga (3.27).

$$F_{v,Rd} = \min \left\{ \begin{array}{l} 1,05 \frac{14,0 \cdot 120 \cdot 12}{2 + 1,56} \left[\sqrt{2 \cdot 1,56(1 + 1,56) + \frac{4 \cdot 1,56(2 + 1,56)76,7 \cdot 10^3}{14,0 \cdot 12 \cdot 120^2}} - 1,56 \right] = 8257 \\ 1,15 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 1,56}{1 + 1,56}} \sqrt{2 \cdot 76,7 \cdot 10^3 \cdot 14,0 \cdot 12} = 6450 \end{array} \right.$$

$$F_{v,Rd} = 6,450 \cdot 10^3 \text{ N}$$

Kahe löikepinna kandevõime on suurem, kui riivilt tulenevad jõud.

$$R_{j,d} = 2 \cdot 6,450 \cdot 10^3 = 12,9 \cdot 10^3 \text{ N} > F_{d,r} = 12,9 \cdot 10^3 \text{ N}$$

3.5.2 Nõtkepikkused

Järgnevate valemitega leitakse kolme liigendiga raami posti ja riivi nõtkepikkused.

[11]

$$l_{ef,p} = h_p \sqrt{4 + 3,2 \frac{I \cdot s}{I_0 \cdot h} + 10 \cdot \frac{EI}{h \cdot K_r}} \quad (3.28)$$

$$l_{ef,r} = h_r \sqrt{4 + 3,2 \frac{I \cdot s}{I_0 \cdot h} + 10 \cdot \frac{EI}{h \cdot K_r}} \cdot \sqrt{\frac{I_r N_p}{I_p N_r}} \quad (3.29)$$

$$E_{0,9,05} = 10500 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho_k = 425 \text{ kg/m}^3$$

$$K_{ser} = \frac{\rho_k^{1,5} d}{20} = \frac{425^{1,5} \cdot 12}{20} = 5257 \text{ N/mm} \quad (3.30)$$

$$K_u = 2 \cdot \frac{K_{ser}}{3} = 3505 \frac{\text{N}}{\text{mm}} \quad (3.31)$$

Leiti pöördejäikuse järgneva valemiga.

$$K_r = 2 \cdot K_u \cdot (n_1 \cdot r_1^2 + n_2 \cdot r_2^2) = 2 \cdot 3505 (25 \cdot 290^2 + 20 \cdot 230^2) = 228,69 \cdot 10^8 \quad (3.32)$$

Ristlõike kõrgus kaugusel 65/100 liigendist.

$$h_p = \frac{440}{4030} \cdot 0,65 \cdot 4030 + 280 = 566 \text{ mm}$$

$$h_r = \frac{500}{5775} \cdot 0,65 \cdot 5775 + 220 = 545 \text{ mm}$$

$$I_p = 2 \cdot t_1 \cdot \frac{h_p^3}{12} = 2 \cdot 120 \cdot \frac{566^3}{12} = 36,3 \cdot 10^8 \text{ mm}^4 \quad (3.33)$$

$$I_r = t_2 \cdot \frac{h_r^3}{12} = 240 \cdot \frac{545^3}{12} = 32,4 \cdot 10^8 \text{ mm}^4 \quad (3.34)$$

Pikijõud liigendis postilt ja riivilt epüüridelt (Lisa 1).

$$N_p = 29,00 \cdot 10^3 \text{ N}$$

$$N_r = 59,32 \cdot 10^3 \text{ N}$$

Posti efektiivpikkus leiti valemiga .

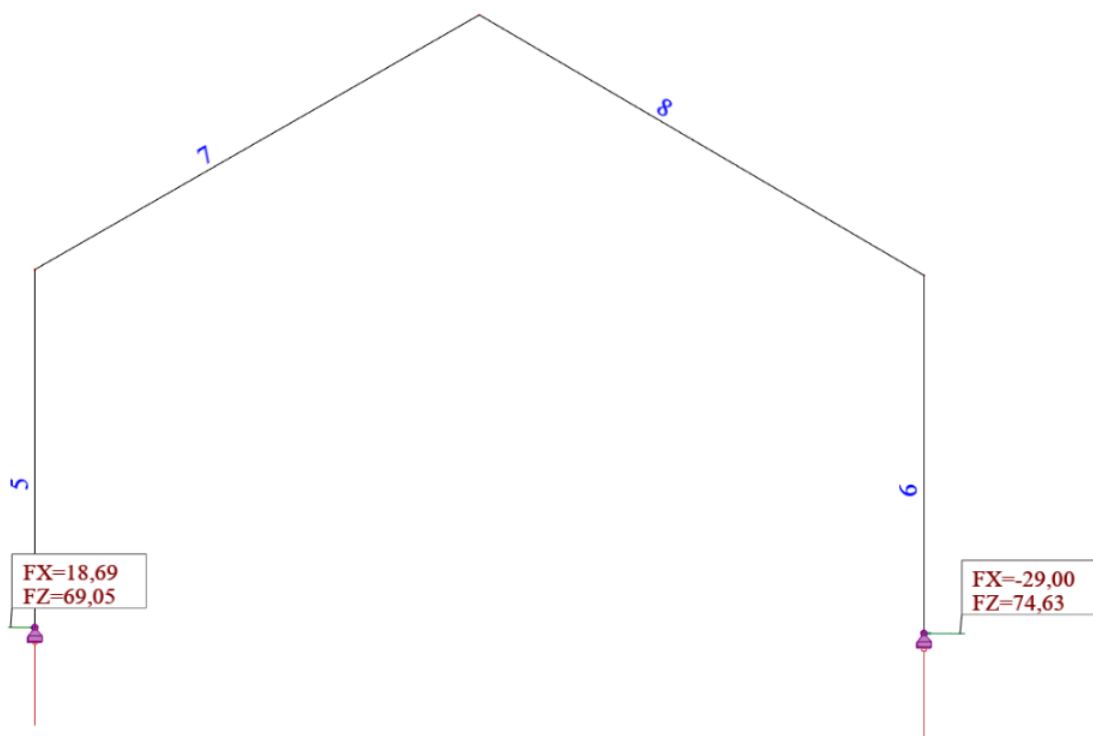
$$l_{ef,p} = 4030 \sqrt{4 + 3,2 \frac{36,3 \cdot 5775}{32,4 \cdot 4030} + 10 \cdot \frac{10500 \cdot 36,3}{4030 \cdot 228,69}} = 4030 \cdot 3,64 = 14682 \text{ mm}$$

Riiv efektiivpikkus leiti valemiga (3.29).

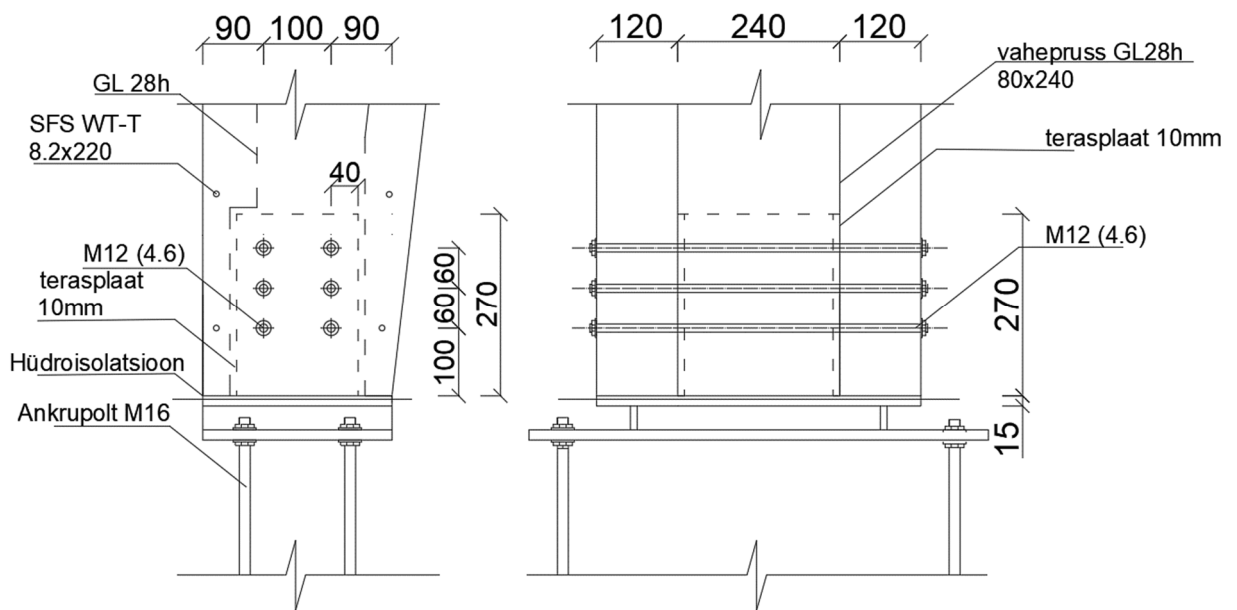
$$l_{ef,r} = 4030 \cdot 3,64 \sqrt{\frac{32,4 \cdot 29,00}{36,4 \cdot 59,32}} = 4030 \cdot 3,64 \cdot 0,66 = 9682 \text{ mm}$$

Edasi, sisestades nõtketegurid arvutusprogrammi saab dimensioneerida ära raami elemendid.

3.5.3 Toesõlme kontroll



Joonis 3.13 Toereaktsioonid KK9 (kN)



Joonis 3.14 Toesõlm (mm)

Antud toesõlmes (vt Joonis 3.14) võtab horisontaalseid ja vertikaalseid koormusi vastu kogu terasplaat. Ülestõstvaid vertikaalseid koormusi võtab vastu polt. Toesõlme arvutuste juures kontrollitakse liite poldi kande võimet ning puidu muljumis- ja nihkekande võimet.

Poldi kande võime kontroll

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

$$d = 12 \text{ mm (4.6)}$$

$$V_d = 29,00 \text{ kN (suurim nihkejõud toes Joonis 3.13)}$$

$$N_d = 74,63 \text{ kN}$$

Muljumistugevuse normväärtuste leidmine puitelemendis ($\alpha=0^\circ$) valemiga (3.20):

$$f_{h,0,k} = f_{h,1,k} = 0,082(1 - 0,01d)\rho_k = 0,082(1 - 0,01 \cdot 12) \cdot 425 = 30,67 \text{ N/mm}^2$$

Leitakse selle arvutusliku suuruse:

$$f_{h,1,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{h,1,k}}{\gamma_M} = 0,9 \frac{30,67}{1,3} = 21,23 \text{ N/mm}^2$$

Voolavuspiirile vastav paindemoment leitakse valemiga (3.26):

$$M_{y,Rk} = 0,3 \cdot f_{u,k} \cdot d^{2,6} = 0,3 \cdot 400 \cdot 12^{2,6} = 76745 \text{ Nmm}$$

Vastav arvutuslik väärtus. Osavarutegur on 1,1, sest tegemist on liite terasosaga.

$$M_{y,Rd} = \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_M} = \frac{76745}{1,1} = 69769 \text{ Nmm}$$

Leitakse poldi teras-puiduga ühelõiklise liite arvutuslik kandevõime, kui $t=120 \text{ mm}$

$$F_{v,Rd} = \min \left\{ \begin{array}{l} f_{h,1,d} \cdot t_1 \cdot d \\ f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d \left(\sqrt{2 + \frac{4 \cdot M_{y,Rd}}{f_{h,1,d} \cdot d \cdot t_1^2}} - 1 \right) \\ 2,3 \cdot \sqrt{M_{y,Rd} \cdot f_{h,1,d} \cdot d} \end{array} \right. \quad (3.35)$$

$$F_{v,Rd} = \min \left\{ \begin{array}{l} 21,23 \cdot 120 \cdot 12 = 30571 \\ 21,23 \cdot 120 \cdot 12 \left(\sqrt{2 + \frac{4 \cdot 69,7 \cdot 10^3}{21,23 \cdot 12 \cdot 120^2}} - 1 \right) = 13477 \\ 2,3 \cdot \sqrt{69,7 \cdot 10^3 \cdot 21,23 \cdot 12} = 9696 \end{array} \right.$$

Seega on antud neljalõiklise poldi kandevõime:

$$F_{v,Rd} = 9696 \text{ N}$$

Vajalik poltide arv:

$$n = \frac{N_d}{F_{v,Rd}} = \frac{74630/2}{9696} = 3,85$$

Valitakse 4 polti

Poltide asetus

Poltide kaugus ristikiudu:

$$a_1 = (4 + |\cos(\alpha)|) \cdot d = 5 \cdot 12 = 60 \text{ mm} \quad (3.36)$$

Poltide kaugus ristikiudu:

$$a_2 = 4d = 4 \cdot 12 = 48 \text{ mm} \quad (3.37)$$

Poltide kaugus koormatud otsast

$$a_{3,t} = \max \left\{ \begin{array}{l} 7d = 7 \cdot 12 = 84 \text{ mm} \\ 80 \text{ mm} \end{array} \right. \quad (3.38)$$

Poltide kaugus ristikiudu koormatud servast:

$$a_{4,t} = \max \begin{cases} (2 + 2\sin\alpha)d = 2 \cdot 12 = 24 \text{ mm} \\ 3d = 3 \cdot 12 = 36 \text{ mm} \end{cases} \quad (3.39)$$

Kui $n=2, \alpha=0^\circ$ ja ridade arv $m=2$, siis on efektiivne poltide arv:

$$n_{ef} = \min \begin{cases} n = 2 \\ n^{0,9} \cdot \sqrt[4]{\frac{a_1}{13d}} = 2^{0,9} \cdot \sqrt[4]{\frac{60}{13 \cdot 12}} = 1,47 \end{cases} \quad (3.40)$$

Varasemalt leitud poltide arv jagades 2-ga on 1,865. See on suurem, kui praegu leitud n_{ef} . Seega arvestatakse, et $n_{ef} = 1,865$. Valem on efektiivne poltide arv:

) on teisendatud n leidmiseks.

$$n = \left(\frac{13 \cdot d \cdot n_{ef}^4}{a_1} \right)^{\frac{1}{3,6}} = \left(\frac{13 \cdot 12 \cdot 1,865^4}{60} \right) = 2,61$$

Seega valitakse $2 \times 3 = 6$ polti

Tõmbepingete kontroll pikikiudu

Arvutuslik tõmbetugevus pikikiudu:

$$f_{t,0,d} = \frac{k_{mod} \cdot f_{c,90,g,k}}{\gamma_M} = \frac{0,9 \cdot 22,3}{1,3} = 15,4 \frac{N}{mm^2} \quad (3.41)$$

Leitakse kõige kriitilisem ristlõike, mis asub avade piirkonnas

$$A_{ef} = (480 - 20) \cdot (280 - 2 \cdot 12) = 117760 mm^2$$

Arvutuslik tõmbepinge:

$$\delta_{c,Rd} = \frac{N_d}{A} = \frac{74630}{117760} = 0,63 \frac{N}{mm^2} < F_{t,0,d} = 15,4 \frac{N}{mm^2} \quad (3.42)$$

Kandevõime pikikiudu tõmbele on piisav

Mitmenaagilise liite klotsi- ja uurdekujulise purunemise kontroll

Arvutuslik nihketugevus:

$$f_{v,d} = \frac{k_{mod} \cdot f_{v,g,k}}{\gamma_M} = \frac{0,9 \cdot 3,5}{1,3} = 2,42 \frac{N}{mm^2}$$

Ristlõike netolaius ristikiudu on $L_{net,t}=100-12=88$ mm

Nihkele puruneva pinna netopikkus on $L_{net,v}=2(220-6)=428$ mm

Efektiivne sügavus:

$$t_{ef} = t_1 \left(\sqrt{2 + \frac{M_{y,Rk}}{f_{h,1,d} d t_1^2}} - 1 \right) = 2 \cdot 120 \left(\sqrt{2 + \frac{69769}{21,23 \cdot 12 \cdot 120^2}} - 1 \right) = 101 \text{ mm} \quad (3.43)$$

Netoristlõike pindala ristikiudu $A_{net,t}=L_{net,t} \cdot t_1=88 \cdot 120=10560$ mm²

$$A_{net,v} = \frac{L_{net,v}}{2} (L_{net,t} + 2 \cdot t_{ef}) = \frac{428}{2} (88 + 2 \cdot 101) = 62060 \text{ mm}^2$$

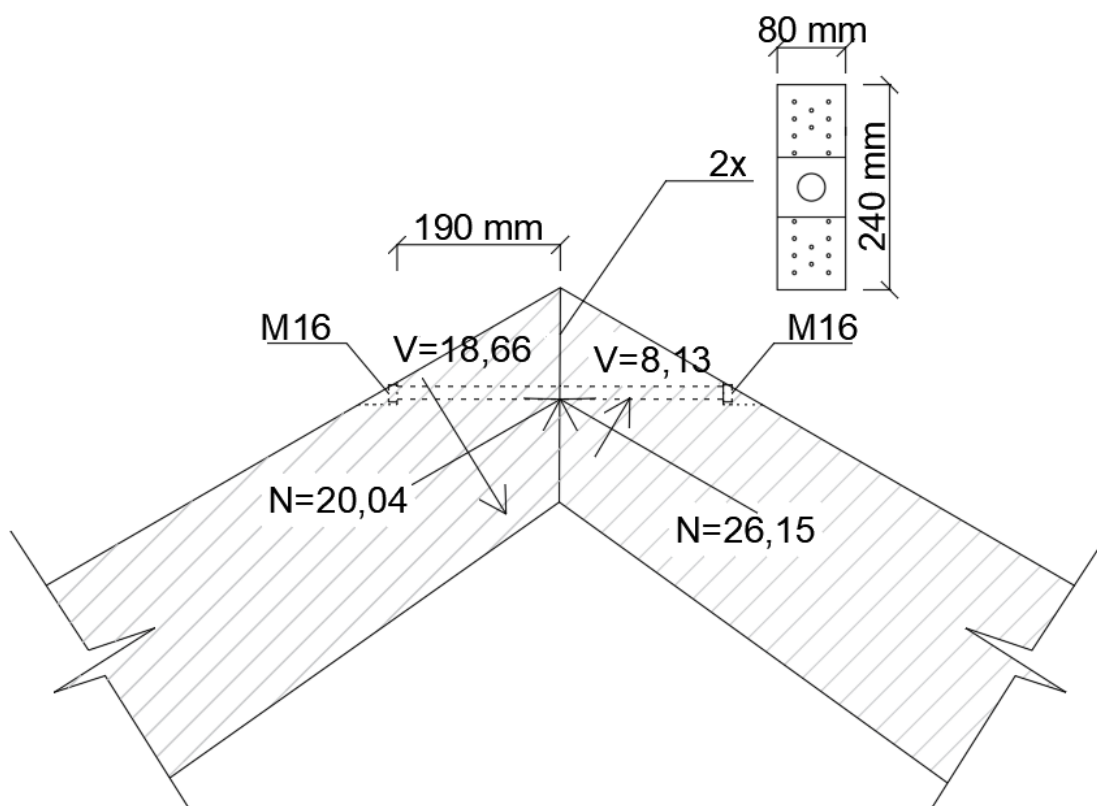
Arvutuslik kandevõime:

$$F_{bs,Rd} = \max \begin{cases} 1,5 \cdot A_{net,t} \cdot f_{t,0,d} = 1,5 \cdot 10560 \cdot 15,4 = 243936 \text{ N} \\ 0,7 \cdot A_{net,v} \cdot f_{v,d} = 0,7 \cdot 62060 \cdot 2,42 = 105129 \text{ N} \end{cases}$$

$$105,13 \text{ kN} > \frac{74,63}{2} = 37,32 \text{ kN}$$

Kandevõime on tagatud

3.5.4 Harjasõlme kontroll



Joonis 3.15 Harjasõlm ja jõud sõlmes (kN)

Harjasõlm on enim koormatud koormuskombinatsioonis 9, kus mõjub korraga nii domineeriv ühtlane lumi ning vasakult poolt puhuv tuul. Harjasõlm on lahendatakse pöitliitega, mis võtab vastu pöikjõudusid (vt Joonis 3.15).

$$N_d = 20,04 \text{ kN} \quad N_d = 26,15 \text{ kN}$$

$$V_d = 18,66 \text{ kN} \quad V_d = -8,13 \text{ kN}$$

$$\alpha = 30^\circ$$

$$F_v = (18,66 \cdot \cos 30 - 20,04 \cdot \sin 30) - (-8,13 \cdot \cos 30 - 26,15 \cdot \sin 30) = 6,14 + 20,12 = 26,26 \text{ kN}$$

$$d = 16 \text{ mm}$$

$$t_1 = 190 \text{ mm}$$

Muljumistugevuse normväärtus valemiga (3.20)

$$f_{h,0,k} = 0,082(1 - 0,01d)\rho_k = 0,082(1 - 0,01 \cdot 16) \cdot 425 = 29,27 \text{ N/mm}^2$$

$$k_{90} = 1,35 + 0,015 \cdot d = 1,35 + 0,015 \cdot 16 = 1,59$$

Jõu mõjumis suuna ja puidu pikikiu vaheline nurk $\alpha_1 = 60^\circ$ ja normmuljumistugevus pikikiudu leitakse valemiga (3.24).

$$f_{h,1,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90}(\sin(\alpha_1))^2 + (\cos(\alpha_1))^2} = \frac{29,27}{1,59 \cdot (\sin(60^\circ))^2 + (\cos(60^\circ))^2} = 20,29 \text{ N/mm}^2$$

Voolavuspiirile vastav paindemoment valemiga (3.26):

$$M_{y,Rk} = 0,3 \cdot f_{u,k} \cdot d^{2,6} = 0,3 \cdot 800 \cdot 16^{2,6} = 324282 \text{ N}$$

Kahelõikelse terasplaatliite arvutuseks kasutatakse varasemalt kasutatud valemit (3.35).

Köie-efektiga antud arvutustes ei arvestata.

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{20,29 \cdot 190 \cdot 16 = 61681}{20,29 \cdot 190 \cdot 16 \cdot \left(\sqrt{2 + \frac{4 \cdot 324282}{20,29 \cdot 16 \cdot 190^2}} - 1 \right)} = 27930 \\ 2,3 \sqrt{324282 \cdot 20,29 \cdot 16} = 23599 \end{array} \right.$$

$$F_{v,Rk} = 23,60 \text{ kN}$$

Arvutuslik ühelõikepinna kandevõime:

$$F_{v,Rd,1} = \frac{k_{mod} \cdot F_{v,Rk}}{\gamma_M} = \frac{0,9 \cdot 23,60}{1,25} = 16,99 \text{ kN}$$

Kahe lõikepinna kandevõime:

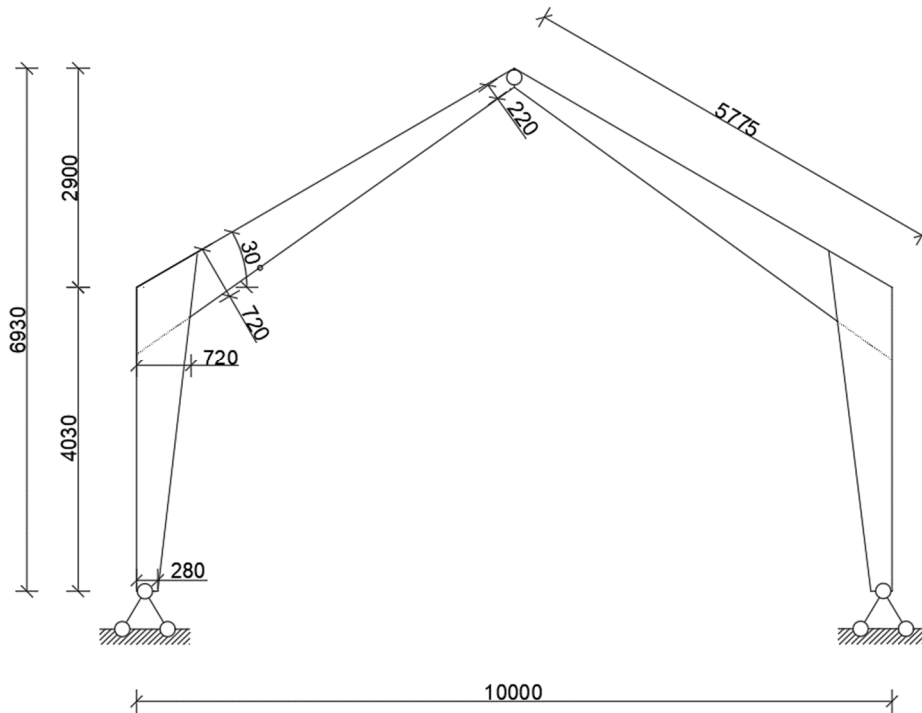
$$F_{v,Rd,2} = 2 \cdot 16,99 = 33,98 \text{ kN} > F_v = 26,26 \text{ kN}$$

3.5.5 Raami dimensioneerimine

Raami dimensioneerimisel on arvestatud, et nurga sõlmedesse tekivad suurimad paindemomendi väärtused. Ökonoomsuse eesmärgil on puidu ristlõige muutuv. Toesõlmedes ja harjasõlmes, kus asuvad liigendid, ei ole paindemomenti ja seega on seal ristlõige väiksem. Puitkonstruktsioonide õpikus [8] soovitatakse harjasõlme kõrguseks võtta vähemalt 0,3h ja kannasõlmeks vähemalt 0,4h. Nurgasõlme soovitus on $h=l/(12...30)$.

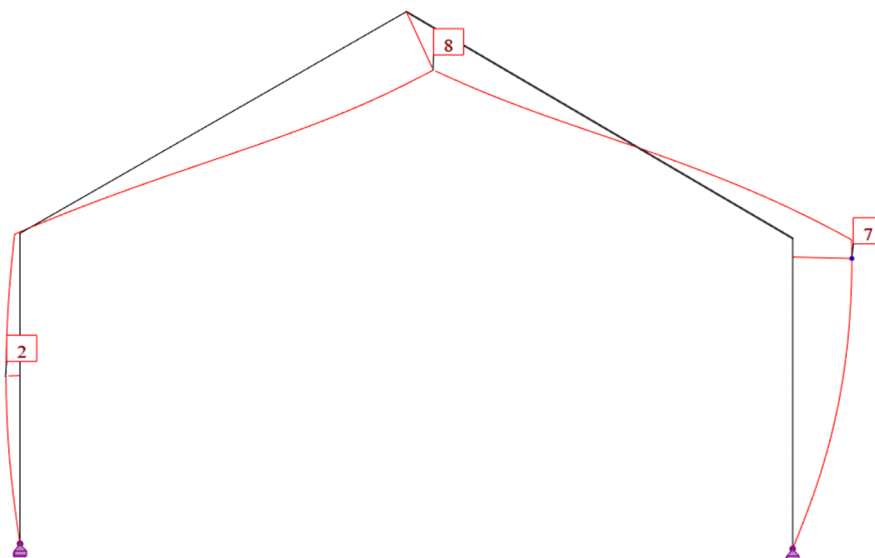
Ristlõigete kontrolliks kasutatakse ARSAP programmi, millega leitakse ka raami deformatsioon (vt Joonis 3.17). Arvutus failid lisas 3.

Nurgasõlme kõrguseks saadi arvutuste käigus 720 mm. Toesõlmes ristlõike kõrgus võetakse soovitude põhjal 280 mm, mis on natukene alla soovitusliku, kuid nurgasõlme ristlõige oli dimensioneeritud varuga. Harjasõlme kõrgus võeti 220 mm. Alljärgneval joonisel on kujutatud liimpuitraami ristlõike kõrguse muutumist.



Joonis 3.16 Raami mõõtmed (mm)

Kontrollitakse läbipaindeid SLS koormuskombinatsioonis 12 (Omakaal + katusekoormus* 1,0+ lumi vasak* 1,0 + tuule*1,0*0,6). Arvutusfail Lisa 3 Raami arvutused (versioon 1)



Joonis 3.17 Raami varraste läbipainded (mm)

3.6 Portaalraam variant 2

Alternatiivse variandina lahendatakse nurgasõlm epoksliimi ja terasplaadiga. Iga plaadi jaoks tehakse peenike süvend. Peale terasplaadi sisestamist täidetakse ülejäänud vaba ruum epoksliimiga. Tootjapoolses tehnilises juhendis oli kirjeldatud antud liidet kui väga jäika. [12] Käesolevas töös on kasutatud Rothoblaasi kaheosalist Xepox L liimi ja S275 terasplaati.

Xepox L tugevusnäitajad [12]:

Tõmbetugevus $f_{t,k}=36$ MPa

Survetugevus $f_{c,k}=88$ MPa

Nihketugevus $\tau=28$ MPa

Elastsusmoodul $E=4600$ MPa

Terases S355 tugevusnäitajad ja varutegurid [6]:

Voolavuspiir $f_{y,k}=355$ MPa

$\gamma_{M0}=1$

$\gamma_{M2}=1,25$

3.6.1 Nurgasõlme arvutus epoksliimi ja terasplaadiga

Arvutustes on eeldatakse, et kõiki tekkivad pinged peab kandma vaid terasplaat. Seega kontrollitakse plaadis tekkivaid kogupingeid. Teiseks kontrollitakse nihkepingeid, mis tekivad puidu, liimi ja plaadi vahele. Antud lahenduse arvutustes jälgitakse toote tehnilisel lehel olevaid valemiteid [12] ja arvutusi on kontrollitakse Rothoblaasi kalkulaatori abiga.

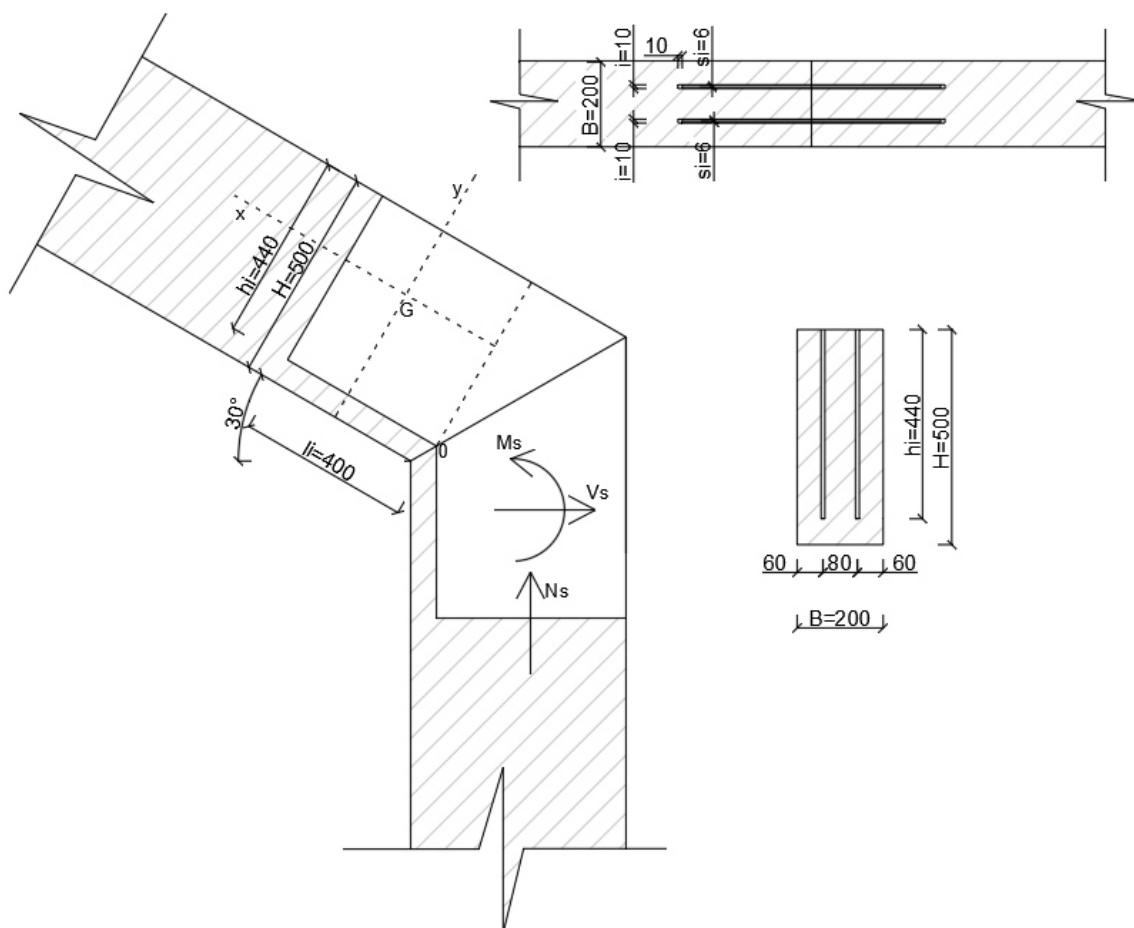
KK9 järgi mõjuvad posti 6 nurgasõlmes jõud tugevusega:

$$V_p = 72,97 \text{ kN} \quad N_p = 28,66 \text{ kN} \quad M_p = 115,49 \text{ kNm}$$

Täiendav moment mõjub põikjõust plaadi keskmesse.

$$M_{T,Ed} = 14,6 \text{ kNm}$$

Arvutustes ei ole arvestatud talade ristlõike muutust. Nurgasõlme arvutuseks on tala ristlõige mõõdeteks valitud $B=200\text{mm}$ ja $H=500\text{mm}$. (Vt. Joonis 3.18 Terasplaadi paigutus) Hiljem valitakse ristlõike kõrguseks 520mm , et arvutatav kõrgus oleks kogu sõlme ulatuses tagatud.



Joonis 3.18 Terasplaadi paigutus (mm)

Terasplaadi kontroll

Terasplaatide kogu vastupanumoment ja pindala.

$$W_x = \frac{n_i \cdot s_i \cdot \left(\frac{h_i}{\cos\alpha}\right)^2}{6} = \frac{2 \cdot 5 \cdot \left(\frac{440}{\cos 30}\right)^2}{6} = 5,16 \cdot 10^5 \text{ mm}^3 \quad (3.44)$$

$$A = \left(n_i \cdot s_i \cdot \frac{h_i}{\cos\alpha}\right) = 2 \cdot 5 \cdot \frac{440}{\cos 30} = 6096 \text{ mm}^2 \quad (3.45)$$

n_i – metallplaatide arv,
 s_i – metallplaadi paksus,
 h_i – metallplaadi kõrgus,
 L_i – metallplaadi pikkus,
 α – jõu mõjumis nurk.

Piirpingemeetodil leitud maksimaalne liitpinge terasplaadis:

$$\begin{aligned}
 \delta_s &= \sqrt{\left(\frac{M_d + M_{t,ED}}{W_x}\right)^2 + \left(\frac{N_d}{A}\right)^2 + 3 \cdot \left(\frac{V_d}{A}\right)^2} & (3.46) \\
 &= \sqrt{\left(\frac{(115,5 + 14,6) \cdot 10^6}{5,16 \cdot 10^5}\right)^2 + \left(\frac{28,7 \cdot 10^3}{6096}\right)^2 + 3 \cdot \left(\frac{73,0 \cdot 10^3}{6096}\right)^2} \\
 &= 252,87 \frac{N}{mm^2}
 \end{aligned}$$

Antud ristlõige sobib, kuna pinge ei ületanud terase maksimaalset lubatud pinget 355 MPa.

Pingete kontroll puidus

Puidu ristlõike vastupanumoment:

$$W_n = \frac{B_n \cdot H^2}{6} = \frac{180 \cdot 500^2}{6} = 7,5 \cdot 10^6 \text{ mm}^3 \quad (3.47)$$

Kus B_i – tala laius pilusid maha arvestades,
 H – tala kõrgus.

Arvutuslik painde kandevõime valemite (3.6) ja (3.7) järgi, kasutades puidu liite varutegurit.

$$f_{m,d} = \frac{k_{mod} \cdot f_{m,k}}{\gamma_{M,c}} = \frac{1,1 \cdot 28}{1,3} = 23,7 \text{ MPa}$$

Paindepingete kontroll puidus:

$$\sigma_M = \frac{(M_d + M_{t,ED})}{W_n} = \frac{(115,5 + 14,6) \cdot 10^6}{7,5 \cdot 10^6} = 17,34 \frac{N}{mm^2} < 23,7 \text{ MPa} \quad (3.48)$$

Puidu liide peab paindepingetele vastu.

Arvutuslik lõikekandevõime puidus:

$$f_{v,d} = \frac{k_{mod} \cdot f_{m,k}}{\gamma_{M,e}} = \frac{1,1 \cdot 3,5}{1,25} = 3,08 \text{ MPa}$$

Kontroll lõikele:

$$\begin{aligned} \tau &= \frac{1}{k_{cr}} \cdot 1,5 \cdot \frac{V_d}{B_n \cdot h_i} \cdot \frac{(n_i - 1)}{n_i} = \frac{1}{0,67} \cdot 1,5 \cdot \frac{73,0}{180 \cdot 440} \cdot \frac{(2 - 1)}{2} \\ &= 1,03 \frac{N}{\text{mm}^2} < 3,08 \text{ MPa} \end{aligned} \quad (3.49)$$

Liite lõikekandevõime sobib.

Arvutuslik lõikekandevõime liites:

$$f_{v,d} = \frac{k_{mod} \cdot f_{m,k}}{\gamma_{M,c}} = \frac{1,1 \cdot 3,5}{1,3} = 3,00 \text{ MPa}$$

Kahe pinna vaheliste nihkepingete kontroll:

Korrutatud on paindemoment, mis mõjub plaadi raskuskeskme õlaga, läbi plaadi ühe külje nihkemooduliga. Tekkivatele nihkepingetele on lisatud horisontaalsuunalised jõud ühe plaadi külje kohta.

$$\begin{aligned} \tau_{max,hor} &= \left((M_d + M_{t,ED}) \cdot y_g \right) \cdot \frac{G}{(2 \cdot n_i \cdot I_p)} + \frac{\sqrt{N_d^2}}{2 \cdot n_1 \cdot A_i} \\ &= ((115,5 + 14,6) 237,7 \cdot 10^6) \cdot \frac{650}{2 \cdot 2 \cdot 2,79 \cdot 10^{12}} + \frac{\sqrt{28,7^2 \cdot 10^3}}{2 \cdot 2 \cdot 2,32 \cdot 10^5} \\ &= 1,83 \frac{N}{\text{mm}^2} < 3,00 \text{ MPa} \end{aligned} \quad (3.50)$$

Nihkepinged ei ületa liite nihkekandevõimet.

Vertikaalse külgnihketugevuse kontroll:

Paindemoment on korrutatud läbi ekstsentrilisusega ja ühe külje külgnihkemooduliga. Tekkivatele külgnihkepingetele on lisatud vertikaalsuunalised jõud ühe plaadi külje kohta.

Arvutuslik külgnihketugevus:

$$f_{r,g,d} = \frac{k_{mod} \cdot f_{r,g,k}}{\gamma_{M,c}} = \frac{0,9 \cdot 1,2}{1,3} = 1,0 \text{ MPa}$$

$$\tau_{max,ver} = (M_d + M_{t,ED}) \cdot e \cdot \frac{G_{rs}}{2 \cdot n_i \cdot I_p} + \frac{\sqrt{V_d^2}}{2 \cdot n_i \cdot A_i} = (115,5 + 14,6)385 \cdot 10^6 \cdot \frac{650}{2 \cdot 2 \cdot 2,79 \cdot 10^{12}} + \frac{\sqrt{73,0^2 \cdot 10^3}}{2 \cdot 2 \cdot 2,32 \cdot 10^5} = 0,37 \frac{N}{mm^2} < 1,0MPa \quad (3.51)$$

Vertikaalsed nihkepinged ei ületa liite külgnihkekandevõimet

Varasemalt kasutatud abisuuruste arvutused

Raskuskeskme kaugused 0 punktist:

$$y_g = \frac{\frac{L_i}{2} \cdot \frac{h_i^2}{2} + 2 \cdot \frac{h_i^3}{6} \cdot \tan\alpha}{h_i \cdot \frac{L_1}{2} + \frac{h_i^2}{2} \tan\alpha} = \frac{\frac{800}{2} \cdot \frac{440^2}{2} + \frac{440^3}{3} \cdot \tan 30}{440 \cdot \frac{800}{2} + \frac{440^2}{2} \tan 30} = 237 \text{ mm} \quad (3.52)$$

$$x_g = \frac{h_i \cdot \frac{L_i^2}{6} + \frac{h_i^2}{2} \cdot \left(\frac{L_i}{2} + \frac{h_i}{3} \cdot \tan\alpha\right) \tan\alpha}{h_i \cdot \frac{L_i}{6} + \frac{h_i^2}{2} \tan\alpha} = \frac{440 \cdot \frac{800^2}{6} + \frac{440^2}{2} \cdot \left(\frac{800}{2} + \frac{440}{2} \cdot \tan 30\right) \tan 30}{440 \cdot \frac{800}{6} + \frac{440^2}{2} \tan 30} = 268 \text{ mm} \quad (3.53)$$

Inertsimomendid:

$$I_x = \left(\frac{L_i h_i^3}{12} + \left(\frac{h_1}{2} - y_g\right)^2 \cdot h_i \cdot \frac{L_1}{2} + \frac{1}{36} \tan\alpha \cdot h_1^4 + \left(\frac{h_i}{3} - y_g\right)^2 \cdot \frac{1}{2} \cdot \tan\alpha \cdot h_i^2 \right) \cdot G = \left(\frac{400 \cdot 440^3}{12} + (220 - 237)^2 \cdot 440 \cdot 400 + \frac{1}{36} \cdot \tan 30 \cdot 440^4 + \left(\frac{440}{3} - 237\right)^2 \cdot \frac{1}{2} \cdot \tan 30 \cdot 440^2 \right) \cdot 650 = 2,57 \cdot 10^{12} \text{ Nmm}^2 \quad (3.54)$$

$$I_y = \left(\frac{h_i \cdot \left(\frac{L_i}{2}\right)^3}{12} + h_i \cdot \frac{L_i}{2} \cdot \left(\frac{L_i}{2} - x_g\right)^2 + \frac{h_i^4}{36} \cdot \tan\alpha^3 + \frac{\tan\alpha}{2} \cdot h_i^2 \cdot \left(x_g - \frac{L_i}{2} + \frac{h_i}{3} \cdot \tan\alpha\right) \right) \cdot G_{rs} = \left(\frac{440 \cdot 400^3}{12} + 440 \cdot 400 \cdot (400 - 268)^2 + \frac{440^4}{36} \cdot \tan 30 + \frac{\tan 30}{2} \cdot 440^2 \cdot \left(268 - 400 + \frac{440}{3} \cdot \tan 30\right) \right) \cdot 65 = 2,19 \cdot 10^{11} \text{ Nmm}^2 \quad (3.55)$$

$$I_p = I_x + I_y = 2,79 \cdot 10^{12} \text{ Nmm}^2$$

Ekstsentrilisus:

$$e = \max \left\{ \frac{L_i}{2} + h_i \cdot \tan \alpha - x_g \right. = 385 \text{ mm} \quad (3.56)$$

Kahe komponentse epoksiimi kulu ühe sõlme kohta

Terasplaadi jaoks tehakse liimpuitu vastavad süvised. Tehtud süvised on veidikene suuremad, kui terasplaat. Epoksiimi kulu arvutuses on arvestatud vajalike lisavahedega, mis täidetakse liimiga. Terasplaadi mõlemale poole on jäetud 2 mm laiune vahe. Samuti on suurem 10 mm vahe otstes.

Leitakse kogu süvise pindala ja ruumala.

$$A = 440 \cdot (400 + 10) + \frac{440}{2} \cdot 440 \cdot \tan 30 = 236287 \text{ mm}^2$$

$$V = 2 \cdot 2 \cdot 236287 \cdot 10 = 9451480 \text{ mm}^3$$

Leitakse terasplaadi pindala ja ruumala.

$$A_t = 440 \cdot 400 + \frac{440}{2} \cdot 440 \cdot \tan 30 = 231887 \text{ mm}^2$$

$$V_t = 2 \cdot 2 \cdot 231887 \cdot 6 = 5565288 \text{ mm}^3$$

Epoksiimi kulu ühe sõlme peale:

$$V_e = 9451480 - 5565288 = 3886192 \text{ mm}^3 = 3,9 \text{ l}$$

3.6.2 Nõtkepikkused

Nõtkepikkused leitakse varsemalt kasutatud valemitega (3.28) ja (3.29).

Terasplaadi ja epoksiga raam on arvestatakse täisjäigana, mis tähendab, et $K_r = \infty$ [12].

$$E_{0,9,05} = 10500 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho_k = 425 \text{ kg/m}^3$$

Ristlõike kõrgus kaugusel 65/100 liigendist:

$$h_p = \frac{300}{4030} \cdot 0,65 \cdot 4030 + 220 = 415 \text{ mm}$$

$$h_r = \frac{360}{5775} \cdot 0,65 \cdot 5775 + 160 = 394 \text{ mm}$$

Inertsimomendid ristlõigetes vastavalt valemitele (3.33) ja (3.34):

$$I_p = t_1 \cdot \frac{h_p^3}{12} = 200 \cdot \frac{415^3}{12} = 11,9 \cdot 10^8 \text{ mm}^4$$

$$I_r = t_1 \cdot \frac{h_r^3}{12} = 200 \cdot \frac{394^3}{12} = 10,2 \cdot 10^8 \text{ mm}^4$$

Pikijõud liigendis postilt ja riivilt epüüridelt (vt Lisa 2).

$$N_p = 28,62 \cdot 10^3 \text{ N}$$

$$N_r = 58,34 \cdot 10^3 \text{ N}$$

Posti efektiivpikkus vastavalt valemile (3.28).

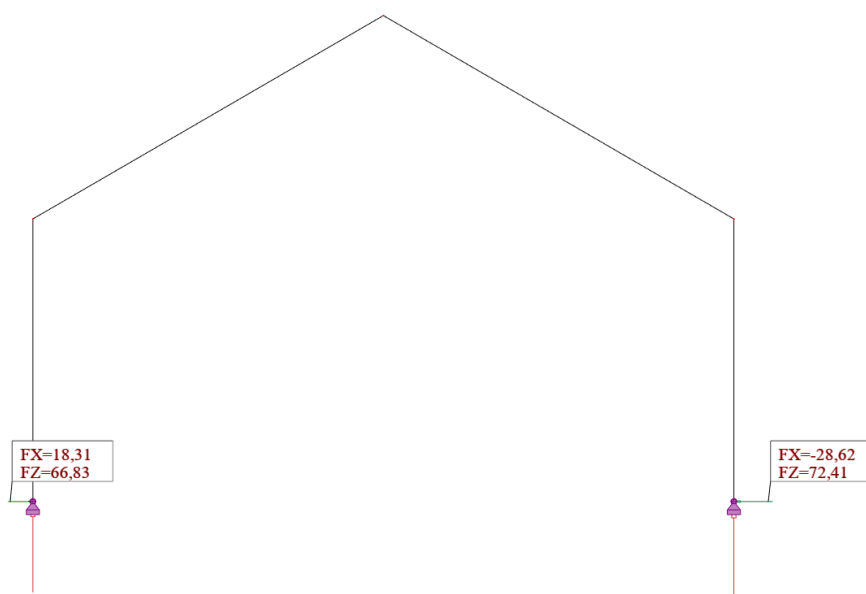
$$l_{ef,p} = 4030 \sqrt{4 + 3,2 \frac{11,9 \cdot 5775}{10,2 \cdot 4030} + 0} = 4030 \cdot 3,06 = 12322 \text{ mm}$$

Riivi efektiivpikkus vastavalt valemitele (3.28) ja (3.29).

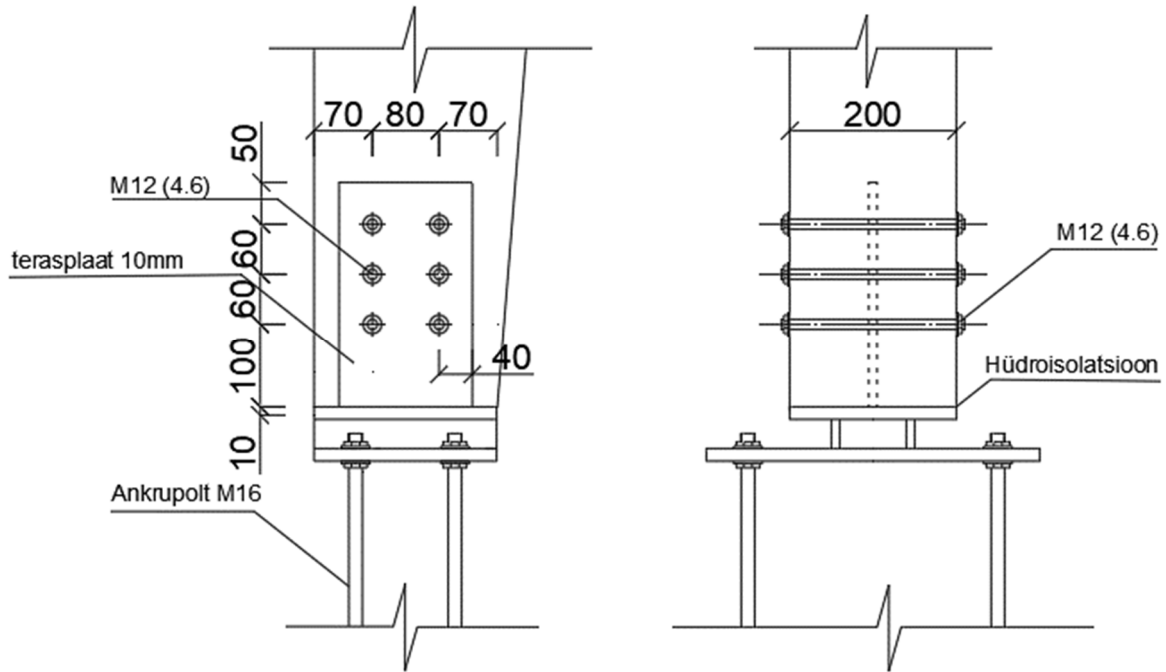
$$l_{ef,r} = 4030 \cdot 3,06 \sqrt{\frac{10,2 \cdot 28,62}{11,9 \cdot 58,34}} = 4030 \cdot 3,06 \cdot 0,65 = 8016 \text{ mm}$$

Järgnevalt sisestatakse nõtketegurid arvutusprogrammi, et dimensioneerida raami elemendid.

3.6.3 Toesõlme kontroll



Joonis 3.19 Toereaktsioonid KK9 (mm)



Joonis 3.20 Toesõlm (mm)

Toesõlme arvutuste juures on kontrollitud liite poldi kandevõimet ja puidu muljumiskandevõimet. (vt Joonis 3.20)

Poldi kandevõime kontroll

$$t = 200 \text{ mm}$$

$$d = 12 \text{ mm (4.6)}$$

$$V_d = 28,62 \text{ kN (suurim nihkejõud toes Joonis 3.19)}$$

$$N_d = 72,41 \text{ kN}$$

Muljumistugevuse normväärtuste leidmine puitelemendis ($\alpha=0^\circ$) valem järgi (3.24):

$$f_{h,0,k} = f_{h,1,k} = 30,67 \text{ N/mm}^2 \text{ ja arvutuslik muljumistugevus } f_{h,1,d} = 21,23 \text{ N/mm}^2$$

Okaspuidu korral $k_{90}=1,59$. Leitud varasemalt kasutatud valemiga (3.21).

Leitakse poldi teras-puiduga kahelõikelise liite arvutuslik kandevõime valemiga (3.35), kui $t=120 \text{ mm}$

$$F_{v,Rd} = \min \left\{ \begin{array}{l} 21,23 \cdot \left(\sqrt{2 + \frac{4 \cdot 69,7 \cdot 10^3}{21,23 \cdot 12 \cdot 200^2}} - 1 \right) = 21596 \\ 2,3 \cdot \sqrt{69,7 \cdot 10^3 \cdot 21,23 \cdot 12} = 9696 \end{array} \right.$$

Antud kahelõikelise poldi kandevõime on seega:

$$F_{v,Rd} = 2 \cdot 9696 = 19392 \text{ N}$$

Vajalik poltide arv:

$$n = \frac{N_d}{F_{v,Rd}} = \frac{72410}{19392} = 3,73 \quad \text{Valitakse 4 polti}$$

Poltide asetus

Poltide kaugus pikikiudu valemiga (3.36).

$$a_1 = (4 + |\cos(\alpha)|) \cdot d = 5 \cdot 12 = 60 \text{ mm}$$

Poltide kaugus ristikiudu valemiga (3.37).

$$a_2 = 4d = 4 \cdot 12 = 48 \text{ mm} \quad \text{Valitakse 80 mm}$$

Poltide kaugus koormatud otsast valemiga (3.38)

$$a_{3,t} = \max \left\{ \begin{array}{l} 7d = 7 \cdot 12 = 84 \text{ mm} \\ 80 \text{ mm} \end{array} \right. \quad \text{Valitakse 100 mm}$$

Poltide kaugus ristikiudu koormatud servast valemiga (3.39).

$$a_{4,t} = \max \left\{ \begin{array}{l} (2 + 2\sin\alpha)d = 2 \cdot 12 = 24 \text{ mm} \\ 3d = 3 \cdot 12 = 36 \text{ mm} \end{array} \right. \quad \text{Valitakse 70 mm}$$

Kasutades varasemalt kasutatud valemit (3.40) Kui $n=2, \alpha=0^\circ$ ja ridade arv $m=2$, siis

$$n_{ef} = \min \left\{ \begin{array}{l} n = 2 \\ n^{0,9} \cdot \sqrt[4]{\frac{a_1}{13d}} = 2^{0,9} \cdot \sqrt[4]{\frac{60}{13 \cdot 12}} = 1,47 \end{array} \right.$$

Varasemalt leitud poltide arv jagades 2-ga on 1,865. See on suurem, kui praegu leitud n_{ef} . Seega arvestatakse, et $n_{ef} = 1,865$. Valem (3.40) on teisendatud n leidmiseks.

$$n = \left(\frac{13 \cdot d \cdot n_{ef}^4}{a_1} \right)^{\frac{1}{3,6}} = \left(\frac{13 \cdot 12 \cdot 1,865^4}{60} \right) = 2,61$$

Seega valime $2 \times 3 = 6$ polti

Tõmbepingete kontroll pikikiudu

Arvutuslik tõmbepinge puidul pikikiudu on $15,4 \frac{N}{mm^2}$.

Leitakse kõige kriitilisem ristlõike, mis asub avade piirkonnas.

$$A_{ef} = (200 - 10) \cdot (220 - 3 \cdot 12) = 34960 \text{ mm}^2$$

Arvutuslik tõmbepinge:

$$\delta_{c,Rd} = \frac{N_d}{A} = \frac{72410}{34960} = 2,07 \frac{N}{mm^2} < F_{t,0,d} = 15,4 \frac{N}{mm^2} \quad (3.57)$$

Kandevõime pikikiudu tõmbele on tagatud.

Mitmenaagliilise liite klotsi -ja uurdekujulise purunemise kontroll

Varasemalt leitud arvutuslik nihketugevus on $2,42 \frac{N}{mm^2}$.

Ristlõike netolaius ristikiudu on $L_{net,t} = 80 - 12 = 68 \text{ mm}$

Nihkele puruneva pinna netopikkus on $L_{net,v} = 2(220 - 18) = 404 \text{ mm}$

Efektivne sügavus valemiga (3.43).

$$t_{ef} = t_1 \left(\sqrt{2 + \frac{M_{y,Rk}}{f_{h,1,d} dt_1^2}} - 1 \right) = 200 \left(\sqrt{2 + \frac{69769}{21,23 \cdot 12 \cdot 200^2}} - 1 \right) = 83,3 \text{ mm}$$

Netoristlõike pidala ristikiudu $A_{net,t} = L_{net,t} \cdot t_1 = 68 \cdot 200 = 13600 \text{ mm}^2$

$$A_{net,v} = \frac{L_{net,v}}{2} (L_{net,t} + 2 \cdot t_{ef}) = \frac{404}{2} (68 + 2 \cdot 83,3) = 47389 \text{ mm}^2$$

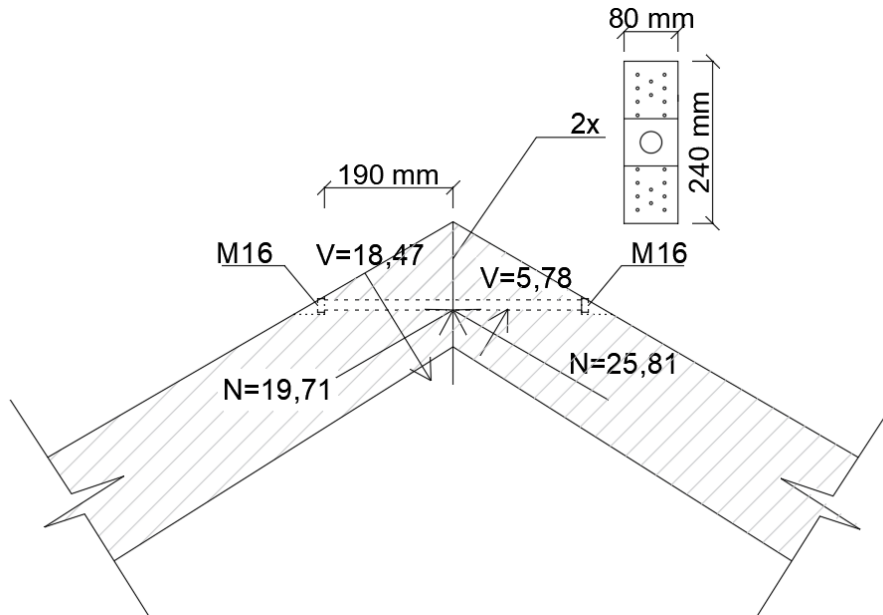
Arvutuslik kandevõime valemiga

$$F_{bs,Rd} = \max \begin{cases} 1,5 \cdot A_{net,t} \cdot f_{t,0,d} = 1,5 \cdot 13600 \cdot 15,4 = 314160 \text{ N} \\ 0,7 \cdot A_{net,v} \cdot f_{v,d} = 0,7 \cdot 47389 \cdot 2,42 = 80276 \text{ N} \end{cases}$$

$$80,276 \text{ kN} \geq 72,41 \text{ kN}$$

Kandevõime on tagatud.

3.6.4 Harjasõlme kontroll



Joonis 3.21 Harjasõlm variant 2 (kN)

$$N_d = 19,71 \text{ kN} \quad N_d = 25,81 \text{ kN}$$

$$V_d = 18,47 \text{ kN} \quad V_d = -5,78 \text{ kN}$$

Kuna sisejõud sõlmes (vt Joonis 3.21) jäävad samasse suurusjärku kui alajaotises 3.5.4, siis ei ole otstarbekas siin uuesti kõiki arvutusi läbi viia.

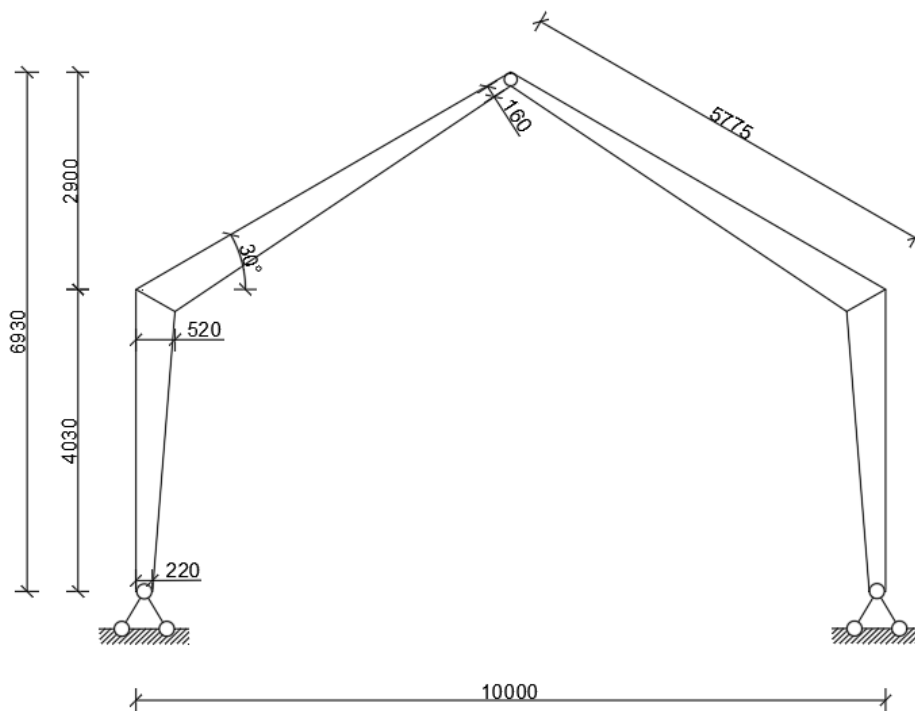
$$F_v = (18,47 \cdot \cos 30 - 19,71 \cdot \sin 30) - (-5,78 \cdot \cos 30 - 25,81 \cdot \sin 30) = 6,14 + 17,91 = 24,05 \text{ kN}$$

$$F_{v,Rd,2} = 2 \cdot 15,59 = 31,18 \text{ kN} > F_v = 24,05 \text{ kN}$$

3.6.5 Raami dimensioneerimine

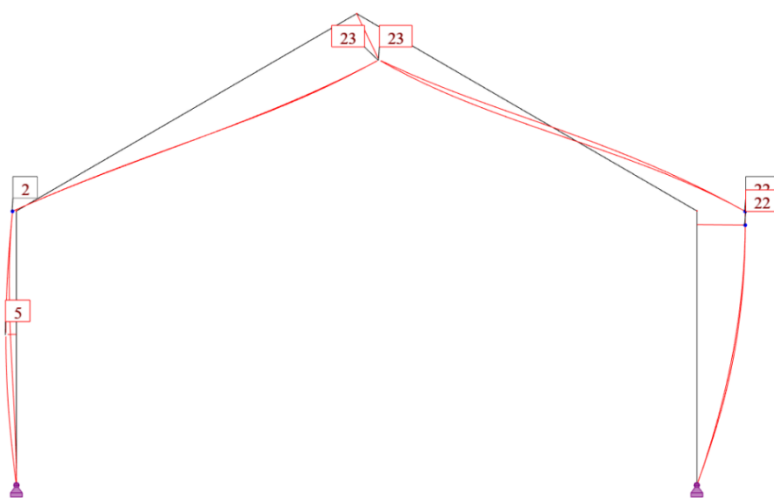
Alapeatükis 3.5.5 kirjeldatud soovitude põhjal valitakse raami ristlõike kõrgused.

Nurgasõlme arvutades on sobilikuks kõrguseks 520 mm. Toesõlmes on ristlõike kõrgus soovitude põhjal 220 mm ja harjasõlme kõrgus 160 mm. Alljärgnev joonis illustreerib raami lõpliku kuju.



Joonis 3.22 Raami mõõtmed (mm)

Liimpuidu ristlõigete kontrolliks kasutatakse programmi ARSAP. Arvutusfailid lisatud lõppu (Lisa 4 Raami arvutused (versioon 2)). Programmi arvutustesse on lisatud varasemalt leitud posti ja riivi nõtketegurid (ptk 3.6.2). Kontrollitakse läbipaindeid SLS koormuskombinatsioonis 12 (Omakaal + katusekoormus * 1,0+ lumi vasak * 1,0 + tuule*1,0*0,6). Maksimaalsed varraste läbipainded järgneval joonisel (Joonis 3.23). Läbipainde arvutused leiab lisast 4.



Joonis 3.23 Raami varraste läbipainded (mm)

3.7 Raami lahenduste võrdlus

Mõlemad raami lahendused töötavad, kuid tuleb teha valik, milline raamilahendus on parem. Otsuse langetamisel on oluliseks aspektiks hind kui ka välimus.

Raami konstruktiivses välimuses osutus valituks epokslüimiga lahendatud nurgasõlmega raami lahendus, kuna see on kitsam ja ristlõike kõrgus madalam. Esimese versiooni järgi on riivi ja posti ühenduse kogulaius 480 mm, kui epoksi ja plaatidega ühendus vaid 200 mm. Samuti nurgasõlme kõrgus on esimese versiooni järgi minimaalselt 640 mm, mis teise järgi on võimalik teha 520 mm. Kuna ruumi avarus on oluline, siis lisa 10 cm mõlemalt poolt on suur eelis.

Hinna osas on arvutused ligikaudsed, kuna täpsema maksumuse saab hinnapäringut tehes. Puidu puhul on võrreldud selle pindala ja ruumala eri lahenduste puhul. Terasplaadi hind on saadud Metallikeskuse kodulehelt sisestades sinna ümardatult vajalikud mõõtmed. Rothoblaasi kahe komponentse epokslüümi hind on leitud ühelt Itaalia päritoluga kodulehelt, mis tähendab, et lõplik hind on veidi erinev. Mutrite ja keermelattide hinnad vaadati Tööriistamarketi kodulehelt. Allpool on toodud nimekiri hindadest, mida võrdlustes kasutati.

Keermelatt 4.6 M12 m	3,20 € tööriistamarket
Polt 10.6 M12	0,65 € tööriistamarket
Teras leht 1000x440 S355J2 6mm	110,53 € metallikeskus.ee
Teras leht 270x220 S355J2 10mm	26,98 € metallikeskus.ee
Teras leht 270x280 S355J2 10mm	34,94 € metallikeskus.ee
XEPOX L – LIQUID 5000ml	773,48 € LA NUOVA BLOCK SRL
SFS WT-T-8,2x220	2,00€ sfs.ch

Tabel 3.1 Raami mahtude võrdlus

	Version 1	Version 2
Puidu maht	2,45 m ³ + posti vaheprussid	1,35 m ³
Puidu pindala	39,27 m ² + posti vaheprussid	21,02 m ²
Keermelatid	103 tk	13 tk
Mutrid/seibid	206 tk	26 tk
Puidukruvid	68tk	-
Epoksliim XEPOX L	-	7,8 l/raamile
Metallplaat	-	4 tk
Harjasõlme metallplaat	1 tk	1 tk
Toesõlme metallplaadid	4 tk	1 tk

Tabel 3.2 Ühendusdetailide maksumus võrdlus

	Variant 1	Variant 2
keermelatid	164,80 €	20,80 €
Poldid	133,90 €	16,90 €
Puidukruvid	136 €	-
Epoksliim	-	1144,75 €
Metall plaadid	-	442,12 €
Toekinnitused	139,76 €	26,98 €
Kokku	574,46€	1 651,55 €

Tabel 3.1 ja Tabel 3.2 andmetest ja raami konstruktsiooni lahendust jälgides tehakse järgnevad järeldused. Maksumuse seisukohalt tuleksid mõlemad raami lahendused enam-vähem samasse hinnaklassi, arvestades lisas leitud summale puidu koguseid. Esimese variandi kohaselt läheb mahtude tõttu puit ning selle pinnatöötlus rohkem maksma. Samas teise variandi puhul on nurgasõlmede lahendus kallim. Toesõlmede puhul tuleb esimene versioon kallim, kuna postid koosnevad kahest osast, mis suurendab ka töömahukust. Lisaks tuleb arvestada, et teise variandi puhul on nurgasõlme lahendus töömahukam, lisandub liimpuitu pilude freesimine.

Praeguste andmete põhjal jätkatakse projekti teise lahendusversiooniga, kuna see on arhitektuurselt optimaalsem.

4. PÕHUPANEELIDEST SEINAKONSTRUKTSIOON

Põhu kasutamine ehituses sai alguse Ameerika Ühendriikides Nebraska osariigis 1870.aastatel. Algselt kasutati ehituseks vaid kokkusurutud põhupakke, mis töötasid ka hoone konstruktsiooni elemendina. Hiljem, põhiliselt Euroopas, muutus populaarsemaks puitkarkasshoone, kus põhk toimis rohkem soojustusena. [13]

Nebraska stiilis põhumajad on olnud laialdaselt kasutusel maapiirkondades ja parandanud inimeste elukvaliteeti. Põhust hoonete ehitamine on keskkonnasõbralik ja ka odavam lahendus kui traditsioonilistest materjalidest ehitamine. Kuid eelduseks on see, et kasutatakse kohalike põllumajanduslike jääke. [14]

Vaatamata põhust ehitamise plussidele, ei ole see laialt levinud. Seda materjali ei peeta eriti ilmastikukindlaks, seostatakse närilistega ja kardetakse selle tuletundlikkuse pärast. Viimasel ajal on põhk kogunud rohkem populaarsust, kuna seda on rohkem teaduslikult uuritud. Kuna konstruktiivselt saab põhust ehitada kergemaid ja lihtsamaid hooneid, siis nähakse põhu potentsiaali rohkem soojustusmaterjalina. Samuti on põhul potentsiaali ka isolatsioonimaterjalina. [15]

Põhu kasutust ehituses on populaarsemaks teinud erinevad põhupaneelid. Põhjus seisneb selles, et neid on kergem kasutada ja ehituskvaliteet on tehases paremini tagatud. [16] Leedus näiteks anti 2019. aastal välja standard, mille järgi kontrollida paneelide kvaliteeti kui ka hilisemaid viimistlustöid. [17]

4.1.1 Üldiselt põhupaneelidest

Põhupaneelid koosnevad kandvast puitkarkassist ja kokkusurutud põhust. Paneelide mõõdud sõltuvad tootjast. Näiteks Ühendkuningriikides toodetud Modcell paneelid on täisseina mõõtmetes (2.7x3m), kaaludes keskmiselt 750kg. [18] Antud töös kasutatud EcoCocon paneelid on väiksemad, et neid oleks kergem transportida. Standardse paneeli 800x2800 mm kaal on umbes 150 kg. [19] Tootja andmetel, arvestades paneelide kandevõimet, võib nendest ehitada kuni 6-korruselist hoonet. [20]

4.1.2 Seinatarind

Et põhupaneel toimiks ja peaks vastu, tuleb paneel katta välitingimuste eest. Oluline on, et põhk ei saaks märjaks, kuna see soodustab hallituseente teket. Selleks kaetakse paneeli väline kiht membraaniga, mis laseb niiskusel välja aurustuda, kuid hoiab ära soojuskao. Passiivmaja nõuete täitmiseks lisatakse veel puitkiudplaat, mis takistab nii tuult kui ka tõstab hoone soojapidavust. Välisviimistlusena võib tootja kirjeldusel olla lubikrohvi või tuuldud puitfassaad. Paneeli sisepool kaetakse paksema savikrohvi või lubikrohvi kihiga, mille sisse pannakse ka tugevdusvõrk. [21]

Eelkirjeldatud seinatarindi soojusjuhtivus (U-arv) on $0,123 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ ja selle pöördväärtus $R=8,1 \text{ m}^2\text{K/W}$ [21]. Vaadeldes ainult põhu näitajaid, siis selle soojusjuhtivus on $\lambda=0,045-0,06 \text{ W/(mK)}$ kuivades tingimustes [15]. Võrdluseks tuues Isover Standard 35 mineraalvilla soojusjuhtivuse $0,035 \text{ W/mK}$. [22]

4.1.3 Tuletundlikus

Põhu juures on oluline uurida selle reageerimist soojusele ja tulele, sest seda seostatakse kui kergesti süttivat materjali. Eristatakse kahte tulega seotud omadust.

Esimene on tulepüsivus, mis näitab ettenähtud aja jooksul tarindi võimet säilitada enda kandevõime, terviklikkus ja isolatsioonivõime. Kandevõime-R ütleb, et konstruktsioon ei tohi kokku kukkuda ega deformeeruda koormuse all tulekahju olukorras. Terviklikkus- E tähendab, et sein ei tohi olla läbinisti kahjustunud. Tarind peab takistama tule ja gaaside levikut. Isolatsioonivõime I kirjeldab tarindi võimet kuumuse levikut takistada kõrvalruumidesse. Neid omadusi väljendatakse minutites. Uuritav EcoCoconi sein sai tootja katsetel tulemuseks REI120, mis tähendab, et ta suutis antud nõudeid täita 120 minutit. Test viidi läbi 25 cm paksuse EcoCocon seinaga, siseviimistluseks oli 30mm savikrohvi ja välisküljel 60 mm paksune puitkiudplaat. [23]

Tuletundlikkus näitab materjali võimet tulega reageerida. EcoCocon välisseina konstruktsiooni katsetati tulega ja tulemuseks saadi B-s1,d0 klass. B tähendab, et konstruktsioon on süttiv ja eraldub vähesel määral suitsu. Tähis s1 tähendab, et suitsu eraldumine süttimisel on eriti vähene. Lisaparameter d0 tähendab, et põlemise käigus ei eraldu tilku ega tükke. [3]

4.1.4 Paneelide kandekarkass

Põhupaneelidele annab tugevuse ja jäikuse puitkarkass, mille valmistamiseks kasutatakse C24 puitu. Igas paneeli nurgas on üks 45x95 mm tugipost. Üle 80 cm laiustel paneelidel on ka keskel postid, kuid need pole kandvad. Vertikaalis on tugevduseks iga 100cm tagant horisontaalne tugevdus läbinõtkumise vastu. Puitkonstruktsioone teades ja Eurokoodeksit jälgides on võimalik teha põhupaneelide konstruktsiooni arvutusi. Erinevaid paneeli elemente kombineerides on võimalik suurendada tarindi kandevõimet, näiteks kasutades standardpaneelide vahel posti elemente. Sellega on võimalik seina vertikaalset kandevõimet suurendada kuni 112,5 kN-ni. Võrreldes sellega, et kaks tavalist standardpaneeli kõrvuti kannab 55,7kN, kui ta on nõtkele takistatud iga 96,2 cm tagant. Suurem kandevõime saavutatakse, kui kasutada kitsamaid paneele, sest see tihendab vertikaalsete postide arvu. Arvutuste juures tuleb kontrollida ka vöötala survet postidele või vineerile ning pinget kruvidele, millega kinnituvad paneelid vundamendi külge. [24]

4.1.5 Paneeli tüübid

EcoCocon põhupaneele toodetakse kuut eri tüüpi. Ehituslikke reegleid järgides saab neid paneeli tüüpe kombineerides projekteerida enam-vähem kõike. Paneelide laiusi ja kõrgusi saab vastavalt soovile valmistada ühe millimeetrise täpsusega. Paneelide standardpaksus on 40 cm, kuid toodetakse ka õhemat 30 cm paksust seinapaneeli. [25]. Paneelide illustratsioonid EcoCocon kodulehelt Joonis 4.1 ja Joonis 4.2.

Standardpaneel

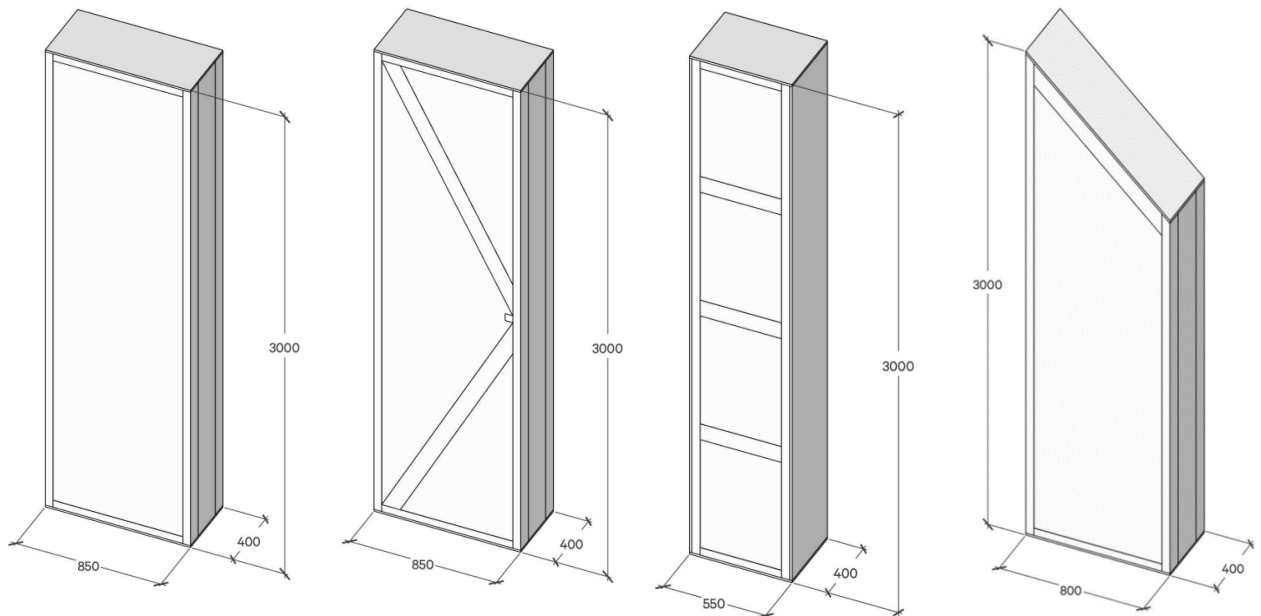
Seda paneeli tüüpi kasutatakse kõige rohkem kohtades, kus ei ole vaja lisatoestust. Standardsuurus on 800x2800 mm. Kandevõimet saab suurendada pannes tihedamalt kitsamaid paneele. [25]

Tugevdatud diagonaalidega paneel

Antud paneel võtab vastu suuremaid külgsuunalisi jõudusid ja teda kasutatakse teiste paneelide vahel jäikuse tagamiseks. [25]

Post

Post on peenem 40-55 cm laiune moodul, millel on vineerist küljeplaadid. Seda elementi kasutatakse nurkades või avatäidete toestamisel. [25]



Joonis 4.1 Paneelide tüübid vasakult : standardpaneel, tugevdatud diagonaalidega paneel, post, kaldega paneel. (Joonised pärit tootja slaididelt)

Kaldega paneel

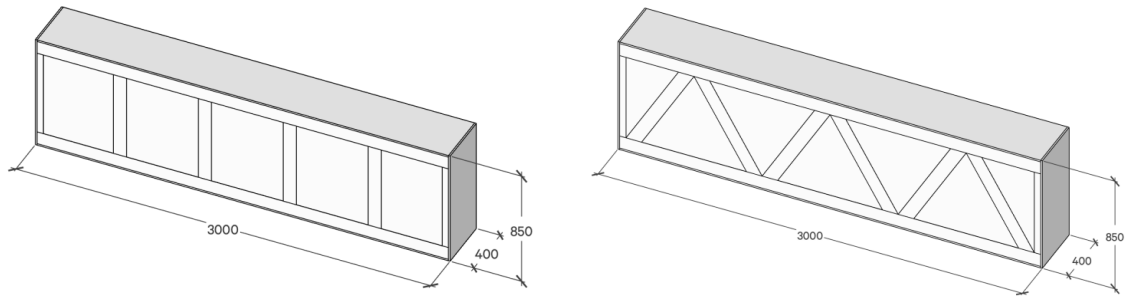
Antud paneeliga ehitatakse kaldselt lõigatud seinasid, kui vaja järgida katuse kallet. Maksimaalne kalle on 45° ja minimaalne 5° . [25]

Aknaalune moodul

Seda tüüpi põhupaneeli moodulit toodetakse kõrgusega 400-850mm. Vertikaalsete tugipostidega tugevdatud paneeli kasutus koht on hoone aknaavade all. Kõrgemate aknaavade puhul kasutatakse standardpaneele. [25]

Sillused

Silluste jaoks kasutatakse spetsiaalseid sillusepaneele, mis on tugevdatud diagonaalsete vahe prussidega. Toote kataloogi järgi on kõrgus neil 400-850 mm. [25]



Joonis 4.2 Paneelide tüübid ülevalt: aknaalune paneel, sillus (Joonised pärit tootja slaididelt)

Paigaldamine

EcoCocon paneelidest maja ehitamine on üldjuhul lihtne, sest paneelid ei kaalu palju ja ehitajaid ei ole selletõttu palju vaja. Tootja andmetel on võimalik ühe päevaga kolmel ehitajal püstitada 60m² seina. Keerulisem on see, et paigalduse ajal on kõige olulisem vaadata, et paneelid ei kahjustuks ilmastiku tõttu. Tuleb kindlustada, et paneelid ei satuks kokku veega, kattes neid sademeteohu korral kilega või tehes ajutine katus. Lisaks ei tohiks neid ladustada märjale pinnasele. Mahalaadimise käigus tuleb kontrollida paneelides oleva põhu õhuniiskust, mis ei tohi ületada 20%. [26]

Paneelide paigaldamine käib vastavalt tootja juhistele. Vundamendile kinnitatakse poltidega (maksimaalse sammuga 1m) alus puitraam, mis hüdroisoleeritakse vundamendist. Raami vahele paigaldatakse soojustusmaterjal. Järgnevalt kaetakse puitraam difuusse aluskattega, mis hoone sees teibitakse ruumi aluspõranda külge ja väljast ühendatakse hiljem kokku paneelidele paigaldatava sama kangaga. Teibitakse kõik üleminekud ja pannakse peale õhuke kiht puitkiudplaati. [26]

Paneelide paigaldamist soovitatakse alustada nurgast ning sealt edasi seinu paigaldada. Seinad tuleb omavahel nii tihedalt kokku saada kui võimalik. Lõpuks ühendatakse paneelid 8mm läbimõõduga kruvidega. Kõik seinad kaetakse peale püstitamist väljastpoolt õhupidava difuusse kangaga. [26]

KOKKUVÕTE

Selle magistritöö peamine eesmärk on teha sobiv projekt hoonele, mis on mõeldud vibuspordiga tegelemiseks. Projekteerimisel lahendatakse hoone arhitektuurne osa ja olulisimad kandvad konstruktsioonid. Käsitletakse vaid maapealseid konstruktsioone, sest puuduvad geoloogilised andmed.

Arhitektuurse osa projekteerimisel võetakse soojustuselemendina kasutusele põhupaneelid, pannakse rõhku nende uurimisele ja kasutusvõimalikkusele antud hoone puhul. Lõputöö sisaldab peale arhitektuursete jooniste ka EcoCocon paneelide jaotusjooniseid, olulisemate sõlmede jooniseid ja paneelide spetsifikatsiooni.

Kandvate konstruktsioonide projekteerimisel peetakse oluliseks hoone funktsionaalset eesmärki, mille tõttu ei saa laskeala keskele paigutada poste ega seinu. Kuna hoone sille (10 meetrit) on piisavalt suur, kasutatakse täiendavalt paneelide oma kandvavõimele kandvaid portaalraame. Lõputöös lahendatakse ära kaks erinevat portaalraami lahendust ja leitakse hilisema võrdluse põhjal sobivaim. Mõlema lahenduse puhul kasutatakse kolme liigendilise portaalraami arvutuskeemi. Kahe raami erinevus seisneb nurgasõlmes.

Esimese variandi puhul on nurgasõlm pooljäik, ühendatud poldiringidega ja raam koosneb postist ja riivist. Teise variandi puhul ühendavad posti ja riivi detaile terasplaadid, mis on asetatud freesitud piludesse ja monolitiseeritud epoksliimiga. Antud lahenduse puhul kontrollitakse liimi ja puidu piiril tekkivaid nihkepingeid.

Võrdluses vaadeldakse raami sobivust antud ruumi ja konstruktsiooni maksuvust. Võrdluses otsustatakse teise variandi kasuks, kuna selle puhul on liimpuidu detailid väiksema ristlõikega ja annavad ruumile rohkem avarust. Samuti väiksem ristlõige on odavam, sest puidu maht ja töödeldav pindala on väiksemad. See korvab kallima nurgasõlme maksumuse.

Antud lõputöö ei ole põhiprojekti mahus, mis tähendab, et on vaja teha veel mitmeid konstruktsiooniarvutusi. Edasisel projekteerimisel arvutatakse täpsemalt põhupaneelide aluskinnitid, tehakse vahelae tugevade kandevõime kontroll ja projekteeritakse vundamendi osa. Energiatõhusama hoone saavutamiseks suurendatakse katusetarindi soojustuse paksust ning leitakse hoone soojakao mahud.

SUMMARY

This thesis aims to provide an architectural design for a straw panel archery practice facility. Issues concerning the most important load-bearing structures and the specifics of the architectural design of such a facility will be provided with possible solutions. Due to the lack of relevant geological data, only the aboveground constructions will be discussed at this time.

As the architectural design of the facility utilizes straw panels as thermal insulation, extra emphasis will be put into studying these straw panels in general and in more detail to establish their suitability to be used in this particular facility. In addition to the architectural drawings, this thesis also contains EcoCocon panel layouts, detail drawings, and panel specifications.

During the designing of the load-bearing constructions, the facility's functional purpose will be taken into account, meaning that columns and walls cannot be placed in the shooting area. As the span of the facility (10m) allows for it, portal frames will be used in addition to the panels' own load-bearing capabilities. In this thesis two different portal frame solutions will be discussed and eventually the more suitable option will be picked by means of comparison. In both portal frame solutions the three hinged portal frame computational scheme will be used. The main difference between the two portal frames lies in their respective knee joints.

In the first portal frame solution, the knee joint is semi-rigid and connected with fasteners layed out in a circular fashion. The frame itself consists of one rafter and two column details. In the second portal frame solution the column and rafter details are connected by steel plates set in milled slots and linked with an epoxy adhesive. In this second solution the tangential tensions taking place where the adhesive and wood meet will be checked.

In the comparison of the two solutions both their suitability for this specific facility as well as their costs of construction will be considered. The second solution will be chosen as the more suitable one since in this one the details of the glulam have smaller cross sections, leading to a much more open floor plan. In addition, the smaller cross sections cost less due to utilizing less wood and having a smaller processable surface area. This makes up for the more costly knee joint of this second solution.

This thesis does not contain quite as much detail as a detailed design phase would, meaning that additional constructional calculations will be necessary. In the further project designing stages panel foundation connections will be calculated in more detail, a ceiling support load-capacity control will be performed and a project design for the foundation will be made. In order to establish energy-efficiency, a thick thermal insulation layer will be added to the roof constructions and heat loss will be calculated.

KASUTATUD KIRJANDUS

1. [1] W. OÜ, „Soojusjuhtivussertifikaat - WERROWOOL,“ TTÜ, 2020.
2. [2] Werrowool OÜ, Tselluvill, [Online]. Loetud aadressil: <https://werrowool.eu/tselluvill/omadused-ja-eelised>. Kasutatud 08.05.2022.
3. [3] „Ehitisele esitatavad tuleohutusnõuded,“ 07.04.2017. [Online]. Loetud aadressil: <https://www.riigiteataja.ee/akt/130112018012?leiaKehtiv>. Kasutatud 07.03.2022.
4. [4] Eurokoodeks 1: Ehituskonstruksioonide koormused. Osa 1-4: Üldkoormused.Tuulekoormus, EVS-EN 1991-1-4:2005+NA:2007, EVS. [Online]. Loetud aadressil : <https://www.evs.ee/et/evs-en-1991-1-4-na-2007>. Kasutatud 20.02.2022.
5. [5] T. Masso, Ehituskonstruktoriga käsiraamat, 2014.
6. [6] J. A. L. A. V. K. V. H. Laul, Ehituskonstruksioonide projekteerimise alused, Tallinn: Valgus, 1969.
7. [7] Puitkonstruksioonide projekteerimine. Osa 1-1, EVS-EN 1995-1-1:2005+NA:2007+A1:2008+NA:2009,. [Online]. Loetud aadressil : <https://www.evs.ee/et/evs-en-1995-1-1-2005%2Bna-2007%2Ba1-2008%2Bna-2009>. Kasutatud 20.02.2022.
8. [8] K. Õ. A. J. E.-J. Just, Puit-ja puidupõhised konstruksioonid, Tallinn: TTÜ, 2018.
9. [9] STEP, Structural Timber Education Program , D8, STEP, [Online]. Loetud aadressil : <https://e-step.net/d-design-details-1>. Kasutatud 07.03.2022.
10. [10] STEP, Structural Timber Education Program, B7, [Online]. Loetud aadressil : <https://e-step.net/b-structural-components>. Kasutatud 07.03.2022.
11. [11] Rothoblaas, XEPOX L - LIQUID-en-technical-data-sheet.pdf, [Online]. Loetud aadressil : <https://www.rothoblaas.com/products/fastening/xepox-epoxy-adhesive/xepox-l-liquid#documents>. Kasutatud 28.03.2022.
12. [12] P. Bruce King, „Straw-bale Construction,“ *Building standards*, 1998.
13. [13] M. Gupta, „Straw bale construction a revolutionary building material in low cost housing for rural areas,“ India, 2015.
14. [14] V. G. D. R. R. Sadzevicius, „SUSTAINABLE CONSTRUCTION OF AGRO-INDUSTRIAL BUILDINGS FROM STRAW PANELS,“ %1 *Proceedings of the 7th International Scientific Conference Rural Development 2015*, 2015. Doi: 10.15544/RD.2015.012
15. [15] L. Nunes, Performance of Bio-based Building Materials-Nonwood bio-based materials, Lisbon: cE3c/ABG and University of the Azores, Azores, 2017. Doi: 0.1016/B978-0-08-100982-6.00003-3.

16. [16] NTJ-01-061:2019 Wooden frame external panels with insulation, Vilnius, 2019. [Online]. Loetud aadressil : [https://ecococon.eu/assets/downloads/national-technical-assessment-2024-\(en\).pdf](https://ecococon.eu/assets/downloads/national-technical-assessment-2024-(en).pdf). Kasutatud 10.04.2022.
17. [17] Modcell straw technology, [Online]. Loetud aadressil: [//www.modcell.com/technical/](http://www.modcell.com/technical/). Kasutatud 06.04.2022.
18. [18] Ecococon põhupaneelid, Heaenergiahoone OÜ, [Online]. Loetud aadressil: <https://ecococon.ee/pohupaneelid>. Kasutatud 06.04.2022.
19. [19] EcoCocon, EC All Guides ENG_17-11-21, 2021. [Online]. Loetud aadressil: <https://ecococon.eu/professionals/downloads>. Kasutatud 12.04.2022.
20. [20] EcoCocon, Ec-brochure-en, [Online]. Loetud aadressil: <https://ecococon.eu/professionals/downloads>. Kasutatud 10.04.2022.
21. [21] S.-G. E. AS, ISOVER STANDARD 35, Isover, 13.05.2021. [Online]. Loetud aadressil: <https://www.isover.ee/tooted/isover-standard-35>. Kasutatud 07.04.2022.
22. [22] EcoCocon, C4_reaction-to-fire-and-fire-resistance, 2021. [Online]. Loetud aadressil: <https://ecococon.eu/professionals/downloads>. Kasutatud 07.04.2022.
23. [23] EcoCocon, C5_structural-design, 2021. [Online]. Loetud aadressil: <https://ecococon.eu/professionals/downloads>. Kasutatud 07.04.2022.
24. [24] EcoCocon, C1_building-elements, 2021. [Online]. Loetud aadressil: <https://ecococon.eu/professionals/downloads>. Kasutatud 07.04.2022.
25. [25] EcoCocon, A4 Assembly Guide Final, 2021. [Online]. Loetud aadressil: <https://ecococon.eu/professionals/downloads>. Kasutatud 12.04.2022.
26. [26] „Metallikeskus,“ VMT Tehased AS, [Online]. Loetud aadressil: <https://metallikeskus.ee/toode/leht-6x1500x6000-s355j2/>. Kasutatud 14.04.2022.
27. [27] B. Group, „Edil Saba,“ [Online]. Loetud aadressil: https://shop-edilsaba.bigmat.it/prodotti/adesivo-epossidico-bicomponente-xepox-l-liquid_460148. Kasutatud 14.04.2022.
28. [28] J. T. ÜHISTU, „tööriistamarket.ee,“ JÄRVA TARBIJATE ÜHISTU, [Online]. Loetud aadressil: <https://www.xn--triiistamarket-imba.ee/et/otsing/Keermelatt%204.6%20M12>. Kasutatud 05.10.2022.
29. [29] Ehituskonstruksioonide projekteerimise alused, EVS-EN 1990:2002+NA:2002, EVS, 01.01.2003. [Online]. Loetud aadressil: <https://www.evs.ee/et/evs-en-1990-2002%2Bna-2002>. Kasutatud 22.02.2022.
30. [30] Eurokoodeks 1: Ehituskonstruksioonide koormused Osa 1-3: Üldkoormused. Lumekoormus, EVS-EN 1991-1-3:2006+A1:2016+NA:2016, EVS, 05.07.2016. [Online]. Loetud aadressil: <https://www.evs.ee/et/evs-en-1991-1-3-2006-a1-2016>. Kasutatud 20.02.2022.
31. [31] Teraskonstruksioonide projekteerimine. Osa 1-1: Üldreeglid ja reeglid

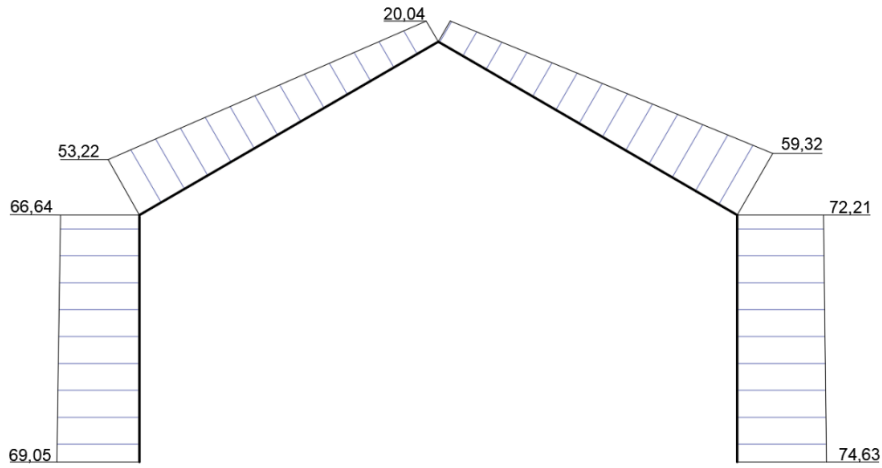
hoonete projekteerimiseks, EVS-EN 1993-1-1:2005+A1:2014+NA:201,EVS,
05.08.2015. [Online]. Loetud aadressil: <https://www.evs.ee/et/evs-en-1993-1-1-2005%2Ba1-2014-na-2015>. Kasutatud 20.02.2022.

32. [32] STEP, Structural Timber Education Program, C16, [Online]. Loetud aadressil:
<https://e-step.net/c-joints-2>. Kasutatud 07.03.2022.

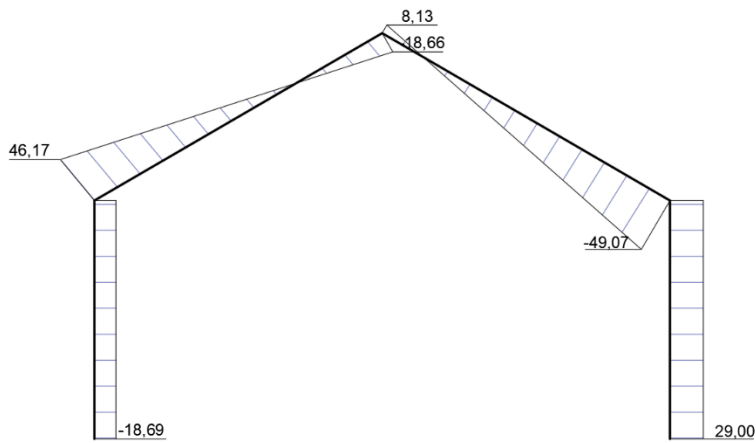
33. [33] SFS, [Online]. Loetud aadressil: <https://www.sfs.ch/>. Kasutatud 19.05.2022.

LISAD

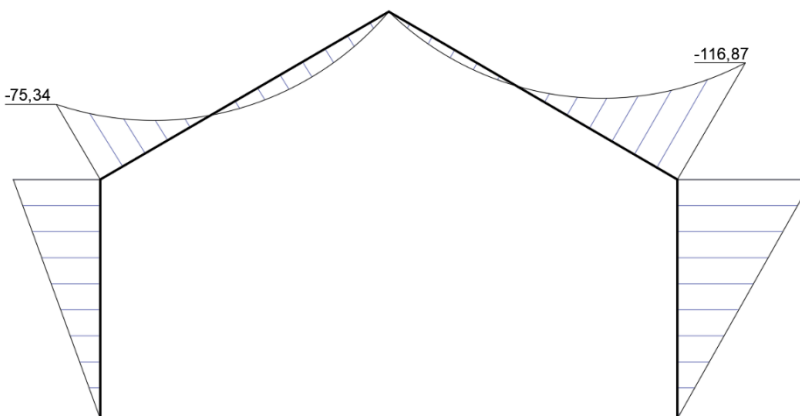
Lisa 1 Raami (variant 1) sisejõud



Joonis 0.1 F_x jõuepüür (kN)

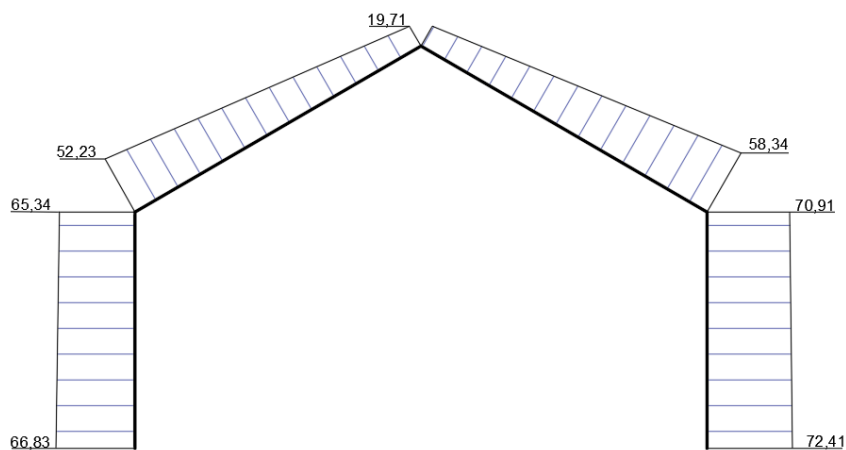


Joonis 0.2 F_z jõuepüür M_y paindemomendi epüür (kN)

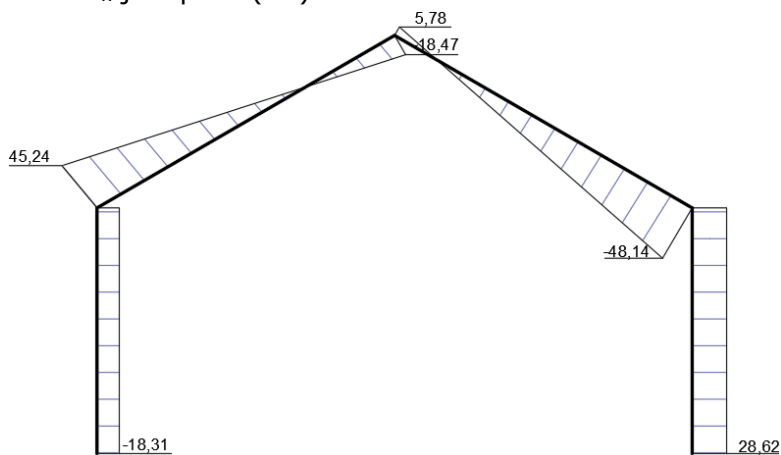


Joonis 0.3 M_y paindemomendi epüür (kNm)

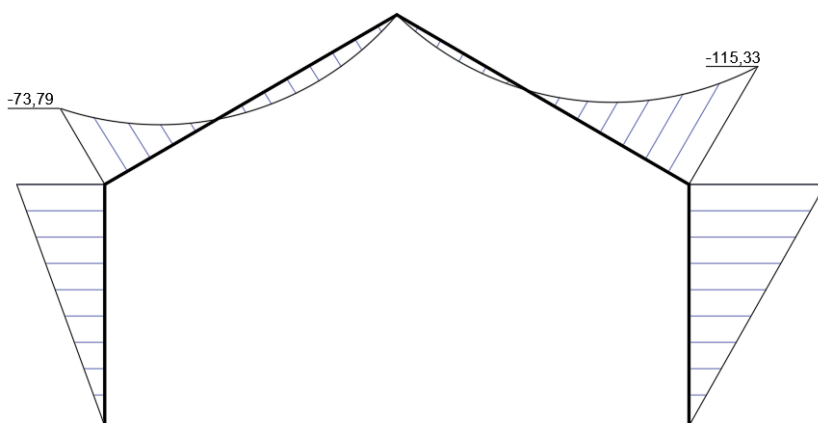
Lisa 2 Raami (variant 2) sisejõud



Joonis 0.4 F_x jõuepüür (kN)



Joonis 0.5 F_z jõuepüür (kN)



Joonis 0.6 M_y paindemomendi epüür (kNm)

Lisa 3 Raami arvutused (version 1)

CODE: EN 1995-1:2004/A2:2014

ANALYSIS TYPE: Member Verification

CODE GROUP:

MEMBER: 5 Post

POINT: 2

COORDINATE: $x = 0.50$ $L = 2.02$ m

LOADS:

Governing Load Case: 109 ULS/109=1*1,2+1,2+77*1,5+3*1,5*0,5 (1+83)*1.20+77*1.50+3*0.90

MATERIAL GL28h

$g_M = 1.25$

$f_{m,0,k} = 28.00$ MPa

$f_{t,0,k} = 22.30$ MPa

$f_{c,0,k} = 28.00$ MPa

$f_{v,k} = 3.50$ MPa

$f_{t,90,k} = 0.50$ MPa

$f_{c,90,k} = 2.50$ MPa

$E_{0,moyen} = 12600.00$ MPa

$E_{0,05} = 10500.00$ MPa

$G_{moyen} = 650.00$ MPa

Service class: 1

Beta $c = 0.10$



SECTION PARAMETERS: GL28h Post

$h_t = 500$ mm

$b_f = 360$ mm

$t_w = 120$ mm

$t_f = 0$ mm

$A_y = 80000$ mm²

$I_y = 2499999944$ mm⁴

$W_y = 10000000$ mm³

$A_z = 80000$ mm²

$I_z = 1872000052$ mm⁴

$W_z = 10400000$ mm³

$A_x = 120000$ mm²

$I_x = 488877296$ mm⁴

STRESSES

$\text{Sig}_{c,0,d} = N/A_x = 68.11/120000 = 0.57$ MPa

$\text{Sig}_{m,y,d} = MY/W_y = 37.67/10000000 = 3.77$ MPa

$\text{Tau}_{z,d} = 1.5 \cdot 18.69/120000 = -0.23$ MPa

ALLOWABLE STRESSES

$f_{c,0,d} = 20.16$ MPa

$f_{m,y,d} = 20.53$ MPa

$f_{v,d} = 2.52$ MPa

Factors and additional parameters

$k_h = 1.10$

$k_{h,y} = 1.02$

$k_{mod} = 0.90$

$K_{sys} = 1.00$

$k_{cr} = 0.67$



LATERAL BUCKLING PARAMETERS:

BUCKLING PARAMETERS:

About Y axis:

$L_Y = 4.03$ m

$\text{Lambda}_{rel Y} = 1.67$

$LF_Y = 14.67$ m

$\text{Lambda}_Y = 101.63$

$k_y = 1.96$

$k_{cy} = 0.33$



About Z axis:

$L_Z = 4.03$ m

$\text{Lambda}_{rel Z} = 0.53$

$LF_Z = 4.03$ m

$\text{Lambda}_Z = 32.27$

$k_z = 0.65$

$k_{cz} = 0.97$

VERIFICATION FORMULAS:

$\text{Sig}_{c,0,d}/(k_c \cdot y \cdot f_{c,0,d}) + \text{Sig}_{m,y,d}/f_{m,y,d} = 0.57/(0.33 \cdot 20.16) + 3.77/20.53 = 0.27 < 1.00$ (6.23)

$(\text{Tau}_{z,d}/k_{cr})/f_{v,d} = (0.23/0.67)/2.52 = 0.14 < 1.00$ (6.13)

LIMIT DISPLACEMENTS



Deflections (LOCAL SYSTEM):



Displacements (GLOBAL SYSTEM):

$v_x = 1$ mm $< v_{max,x} = L/150.00 = 27$ mm

Verified

Governing load case: SLS/112=1*1+83*1+78*1+3*1*0,6 (1+83+78)*1.00+3*0.60

$v_y = 0$ mm $< v_{max,y} = L/150.00 = 27$ mm

Verified

Governing load case: SLS/112=1*1+83*1+78*1+3*1*0,6 (1+83+78)*1.00+3*0.60

Section OK !!!

CODE: EN 1995-1:2004/A2:2014

ANALYSIS TYPE: Member Verification

CODE GROUP:

MEMBER: 6 Post

POINT: 1

COORDINATE: x = 0.00 L = 0.00 m

LOADS:

Governing Load Case: 109 ULS/109=1*1,2+1,2+77*1,5+3*1,5*0,5 (1+83)*1.20+77*1.50+3*0.90

MATERIAL GL28h

gM = 1.25

f_{m,0,k} = 28.00 MPa

f_{t,0,k} = 22.30 MPa

f_{c,0,k} = 28.00 MPa

f_{v,k} = 3.50 MPa

f_{t,90,k} = 0.50 MPa

f_{c,90,k} = 2.50 MPa

E_{0,moyen} = 12600.00 MPa

E_{0,05} = 10500.00 MPa

G_{moyen} = 650.00 MPa

Service class: 1

Beta_c = 0.10



SECTION PARAMETERS: GL28h Post

ht = 280 mm

bf = 360 mm

tw = 120 mm

tf = 0 mm

A_y = 44800 mm²

I_y = 439040014 mm⁴

W_y = 3136000 mm³

A_z = 44800 mm²

I_z = 1048319973 mm⁴

W_z = 5824000 mm³

A_x = 67200 mm²

I_x = 488877296 mm⁴

STRESSES

Sig_{c,0,d} = N/A_x = 74.63/67200 = 1.11 MPa

Tau_{z,d} = 1.5*29.00/67200 = 0.65 MPa

ALLOWABLE STRESSES

f_{c,0,d} = 20.16 MPa

f_{v,d} = 2.52 MPa

Factors and additional parameters

kh = 1.10

k_{mod} = 0.90

K_{sys} = 1.00

k_{cr} = 0.67



LATERAL BUCKLING PARAMETERS:

BUCKLING PARAMETERS:

About Y axis:

LY = 4.03 m

Lambda_{rel} Y = 1.67

LFY = 14.67 m

Lambda Y = 101.63

ky = 1.96

kcy = 0.33



About Z axis:

LZ = 4.03 m

Lambda_{rel} Z = 0.53

LFZ = 4.03 m

Lambda Z = 32.27

kz = 0.65

kc_z = 0.97

VERIFICATION FORMULAS:

Sig_{c,0,d}/f_{c,0,d} = 1.11/20.16 = 0.06 < 1.00 (6.23-4)

Sig_{c,0,d}/(k_c*f_{c,0,d}) = 1.11/(0.33*20.16) = 0.17 < 1.00 (6.23-4)

(Tau_{z,d}/k_{cr})/f_{v,d} = (0.65/0.67)/2.52 = 0.38 < 1.00 (6.13)

LIMIT DISPLACEMENTS



Deflections (LOCAL SYSTEM):



Displacements (GLOBAL SYSTEM):

v_x = 7 mm < v_{max,x} = L/150.00 = 27 mm

Verified

Governing load case: SLS/112=1*1+83*1+78*1+3*1*0,6 (1+83+78)*1.00+3*0.60

v_y = 0 mm < v_{max,y} = L/150.00 = 27 mm

Verified

Governing load case: SLS/112=1*1+83*1+78*1+3*1*0,6 (1+83+78)*1.00+3*0.60

Section OK !!!

CODE: EN 1995-1:2004/A2:2014

ANALYSIS TYPE: Member Verification

CODE GROUP:

MEMBER: 7 Riiv

POINT: 3

COORDINATE: x = 1.00 L = 5.78 m

LOADS:

Governing Load Case: 109 ULS/109=1*1,2+1,2+77*1,5+3*1,5*0,5 (1+83)*1.20+77*1.50+3*0.90

MATERIAL GL28h

gM = 1.25

f m,0,k = 28.00 MPa

f t,0,k = 22.30 MPa

f c,0,k = 28.00 MPa

f v,k = 3.50 MPa

f t,90,k = 0.50 MPa

f c,90,k = 2.50 MPa

E 0,moyen = 12600.00 MPa

E 0,05 = 10500.00 MPa

G moyen = 650.00 MPa

Service class: 1

Beta c = 0.10



SECTION PARAMETERS: GL28h Riiv

ht=220 mm

bf=240 mm

tw=110 mm

tf=110 mm

Ay=35200 mm²

Iy=212960003 mm⁴

Wy=1936000 mm³

Az=35200 mm²

Iz=253439997 mm⁴

Wz=2112000 mm³

Ax=52800 mm²

Ix=1471722964 mm⁴

STRESSES

Sig_c,0,d = N/Ax = 20.04/52800 = 0.38 MPa

Tau_z,d = 1.5*-18.66/52800 = -0.53 MPa

ALLOWABLE STRESSES

f c,0,d = 20.16 MPa

f v,d = 2.52 MPa

Factors and additional parameters

kh = 1.10

kmod = 0.90

Ksys = 1.00

kcr = 0.67



LATERAL BUCKLING PARAMETERS:

BUCKLING PARAMETERS:

About Y axis:

LY = 5.78 m

Lambda_rel Y = 1.68

LFY = 13.87 m

Lambda Y = 102.25

ky = 1.98

kcy = 0.33



About Z axis:

VERIFICATION FORMULAS:

Sig_c,0,d/f c,0,d = 0.38/20.16 = 0.02 < 1.00 (6.23-4)

Sig_c,0,d/(kc*f c,0,d) = 0.38/(0.33*20.16) = 0.06 < 1.00 (6.23-4)

(Tau_z,d/kcr)/f v,d = (0.53/0.67)/2.52 = 0.31 < 1.00 (6.13)

LIMIT DISPLACEMENTS



Deflections (LOCAL SYSTEM):

u fin,y = 0 mm < u fin,max,y = L/200.00 = 29 mm

Governing load case: (1+0.6)*1 + (0.6+0*0.6)*3 + (1+0.6)*83 + (1+0*0.6)*78

Verified

u fin,z = 1 mm < u fin,max,z = L/200.00 = 29 mm

Governing load case: (1+0.6)*1 + (0.6+0*0.6)*3 + (1+0.6)*83 + (1+0*0.6)*78

Verified



Displacements (GLOBAL SYSTEM):

Section OK !!!

CODE: EN 1995-1:2004/A2:2014

ANALYSIS TYPE: Member Verification

CODE GROUP:

MEMBER: 8 Riiv

POINT: 3

COORDINATE: x = 1.00 L = 5.78 m

LOADS:

Governing Load Case: $109 \text{ ULS}/109 = 1*1,2 + 1,2 + 77*1,5 + 3*1,5*0,5 (1+83)*1,20 + 77*1,50 + 3*0,90$

MATERIAL GL28h

$gM = 1.25$ $f_{m,0,k} = 28.00 \text{ MPa}$ $f_{t,0,k} = 22.30 \text{ MPa}$ $f_{c,0,k} = 28.00 \text{ MPa}$
 $f_{v,k} = 3.50 \text{ MPa}$ $f_{t,90,k} = 0.50 \text{ MPa}$ $f_{c,90,k} = 2.50 \text{ MPa}$ $E_{0,\text{moyen}} = 12600.00 \text{ MPa}$
 $E_{0,05} = 10500.00 \text{ MPa}$ $G_{\text{moyen}} = 650.00 \text{ MPa}$ Service class: 1 Beta c = 0.10

**SECTION PARAMETERS: GL28h Riiv**

$h_t = 720 \text{ mm}$
 $b_f = 240 \text{ mm}$ $A_y = 115200 \text{ mm}^2$ $A_z = 115200 \text{ mm}^2$ $A_x = 172800 \text{ mm}^2$
 $t_w = 120 \text{ mm}$ $I_y = 7464960217 \text{ mm}^4$ $I_z = 829440018 \text{ mm}^4$ $I_x = 1469030400 \text{ mm}^4$
 $t_f = 120 \text{ mm}$ $W_y = 20736000 \text{ mm}^3$ $W_z = 6912000 \text{ mm}^3$

STRESSES

$\text{Sig}_{c,0,d} = N/A_x = 59.32/172800 = 0.34 \text{ MPa}$
 $\text{Sig}_{m,y,d} = MY/W_y = 116.87/20736000 = 5.64 \text{ MPa}$
 $\text{Tau}_{z,d} = 1.5 * -49.07/172800 = -0.43 \text{ MPa}$

ALLOWABLE STRESSES

$f_{c,0,d} = 20.16 \text{ MPa}$
 $f_{m,y,d} = 20.66 \text{ MPa}$
 $f_{v,d} = 2.52 \text{ MPa}$

Factors and additional parameters

$kh = 1.10$ $kh_y = 1.02$ $k_{\text{mod}} = 0.90$ $K_{\text{sys}} = 1.00$ $k_{\text{cr}} = 0.67$

**LATERAL BUCKLING PARAMETERS:**

$l_{\text{eff}} = 5.20 \text{ m}$ $\lambda_{\text{rel m}} = 0.44$
 $\text{Sig}_{\text{cr}} = 145.37 \text{ MPa}$ $k_{\text{crit}} = 1.00$

BUCKLING PARAMETERS:

About Y axis:

$L_Y = 5.78 \text{ m}$ $\lambda_{\text{rel Y}} = 1.68$
 $L_{FY} = 13.87 \text{ m}$ $k_{\text{Y}} = 1.98$
 $k_{\text{cY}} = 0.33$



About Z axis:

VERIFICATION FORMULAS:

$\text{Sig}_{c,0,d}/(k_{\text{cY}} * f_{c,0,d}) + \text{Sig}_{m,y,d}/f_{m,y,d} = 0.34/(0.33 * 20.16) + 5.64/20.66 = 0.32 < 1.00 \quad (6.23)$
 $\text{Sig}_{m,y,d}/(k_{\text{crit}} * f_{m,y,d}) = 5.64/(1.00 * 20.66) = 0.27 < 1.00 \quad (6.33)$
 $(\text{Tau}_{z,d}/k_{\text{cr}})/f_{v,d} = (0.43/0.67)/2.52 = 0.25 < 1.00 \quad (6.13)$

LIMIT DISPLACEMENTS**Deflections (LOCAL SYSTEM):**

$u_{\text{fin,y}} = 0 \text{ mm} < u_{\text{fin,max,y}} = L/200.00 = 29 \text{ mm}$ Verified

Governing load case: $(1+0.6)*1 + (0.6+0*0.6)*3 + (1+0.6)*83 + (1+0*0.6)*78$

$u_{\text{fin,z}} = 1 \text{ mm} < u_{\text{fin,max,z}} = L/200.00 = 29 \text{ mm}$ Verified

Governing load case: $(1+0.6)*1 + (0.6+0*0.6)*3 + (1+0.6)*83 + (1+0*0.6)*78$

**Displacements (GLOBAL SYSTEM):**

Section OK !!!

Lisa 4 Raami arvutused (version 2)

CODE: EN 1995-1:2004/A2:2014

ANALYSIS TYPE: Member Verification

CODE GROUP:

MEMBER: 5 Post

POINT: 2

COORDINATE: $x = 0.50$ $L = 2.02$ m

LOADS:

Governing Load Case: $109 \text{ ULS}/109 = 1*1,2 + 1,2 + 77*1,5 + 3*1,5*0,5 (1+83)*1.20 + 77*1.50 + 3*0.90$

MATERIAL GL28h

$gM = 1.25$

$f_{m,0,k} = 28.00$ MPa

$f_{t,0,k} = 22.30$ MPa

$f_{c,0,k} = 28.00$ MPa

$f_{v,k} = 3.50$ MPa

$f_{t,90,k} = 0.50$ MPa

$f_{c,90,k} = 2.50$ MPa

$E_{0,moyen} = 12600.00$ MPa

$E_{0,05} = 10500.00$ MPa

$G_{moyen} = 650.00$ MPa

Service class: 1

Beta c = 0.10



SECTION PARAMETERS: GL 28h raam 2 post

$ht = 370$ mm

$bf = 200$ mm

$tw = 100$ mm

$tf = 100$ mm

$A_y = 49333$ mm²

$I_y = 844216673$ mm⁴

$W_y = 4563333$ mm³

$A_z = 49333$ mm²

$I_z = 246666663$ mm⁴

$W_z = 2466667$ mm³

$A_x = 74000$ mm²

$I_x = 652539777$ mm⁴

STRESSES

$\text{Sig}_{c,0,d} = N/A_x = 66.24/74000 = 0.90$ MPa

$\text{Sig}_{m,y,d} = MY/W_y = 36.90/4563333 = 8.09$ MPa

$\text{Tau}_{z,d} = 1.5 * -18.31/74000 = -0.37$ MPa

ALLOWABLE STRESSES

$f_{c,0,d} = 20.16$ MPa

$f_{m,y,d} = 21.16$ MPa

$f_{v,d} = 2.52$ MPa

Factors and additional parameters

$kh = 1.10$

$kh_y = 1.05$

$k_{mod} = 0.90$

$K_{sys} = 1.00$

$k_{cr} = 0.67$



LATERAL BUCKLING PARAMETERS:

BUCKLING PARAMETERS:

About Y axis:

$LY = 4.03$ m

$\text{Lambda}_{rel Y} = 1.90$

$LFY = 12.33$ m

$\text{Lambda Y} = 115.46$

$ky = 2.38$

$kcy = 0.26$



About Z axis:

VERIFICATION FORMULAS:

$\text{Sig}_{c,0,d}/(k_c * y * f_{c,0,d}) + \text{Sig}_{m,y,d}/f_{m,y,d} = 0.90/(0.26 * 20.16) + 8.09/21.16 = 0.55 < 1.00$ (6.23)

$(\text{Tau}_{z,d}/k_{cr})/f_{v,d} = (0.37/0.67)/2.52 = 0.22 < 1.00$ (6.13)

LIMIT DISPLACEMENTS



Deflections (LOCAL SYSTEM):



Displacements (GLOBAL SYSTEM):

$v_x = 2$ mm $< v_{max,x} = L/150.00 = 27$ mm

Verified

Governing load case: $SLS/112 = 1*1+83*1+78*1+3*1*0,6 (1+83+78)*1.00+3*0.60$

$v_y = 0$ mm $< v_{max,y} = L/150.00 = 27$ mm

Verified

Governing load case: $SLS/112 = 1*1+83*1+78*1+3*1*0,6 (1+83+78)*1.00+3*0.60$

Section OK !!!

CODE: EN 1995-1:2004/A2:2014
ANALYSIS TYPE: Member Verification

CODE GROUP:

MEMBER: 6 Post

POINT: 2

COORDINATE: $x = 0.50 L = 2.02 \text{ m}$

LOADS:

Governing Load Case: $109 \text{ ULS}/109 = 1 \cdot 1,2 + 1,2 + 77 \cdot 1,5 + 3 \cdot 1,5 \cdot 0,5 (1+83) \cdot 1,20 + 77 \cdot 1,50 + 3 \cdot 0,90$

MATERIAL GL28h

$gM = 1.25$ $f_{m,0,k} = 28.00 \text{ MPa}$ $f_{t,0,k} = 22.30 \text{ MPa}$ $f_{c,0,k} = 28.00 \text{ MPa}$
 $f_{v,k} = 3.50 \text{ MPa}$ $f_{t,90,k} = 0.50 \text{ MPa}$ $f_{c,90,k} = 2.50 \text{ MPa}$ $E_{0,\text{moyen}} = 12600.00 \text{ MPa}$
 $E_{0,05} = 10500.00 \text{ MPa}$ $G_{\text{moyen}} = 650.00 \text{ MPa}$ Service class: 1 Beta c = 0.10



SECTION PARAMETERS: GL 28h raam 2 post

$h_t = 370 \text{ mm}$ $A_y = 49333 \text{ mm}^2$ $A_z = 49333 \text{ mm}^2$ $A_x = 74000 \text{ mm}^2$
 $b_f = 200 \text{ mm}$ $I_y = 844216673 \text{ mm}^4$ $I_z = 246666663 \text{ mm}^4$ $I_x = 652539777 \text{ mm}^4$
 $t_w = 100 \text{ mm}$ $W_y = 4563333 \text{ mm}^3$ $W_z = 2466667 \text{ mm}^3$
 $t_f = 100 \text{ mm}$

STRESSES

$\text{Sig}_{c,0,d} = N/A_x = 71.81/74000 = 0.97 \text{ MPa}$
 $\text{Sig}_{m,y,d} = MY/W_y = 57.66/4563333 = 12.64 \text{ MPa}$

$\text{Tau}_{z,d} = 1.5 \cdot 28.62/74000 = 0.58 \text{ MPa}$

ALLOWABLE STRESSES

$f_{c,0,d} = 20.16 \text{ MPa}$
 $f_{m,y,d} = 21.16 \text{ MPa}$
 $f_{v,d} = 2.52 \text{ MPa}$

Factors and additional parameters

$kh = 1.10$ $kh_y = 1.05$ $k_{\text{mod}} = 0.90$ $K_{\text{sys}} = 1.00$ $k_{cr} = 0.67$



LATERAL BUCKLING PARAMETERS:

BUCKLING PARAMETERS:

About Y axis:

$LY = 4.03 \text{ m}$ $\text{Lambda}_Y = 115.46$
 $\text{Lambda}_{\text{rel } Y} = 1.90$ $k_y = 2.38$
 $LFY = 12.33 \text{ m}$ $k_{cy} = 0.26$



About Z axis:

VERIFICATION FORMULAS:

$\text{Sig}_{c,0,d}/(k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}) + \text{Sig}_{m,y,d}/f_{m,y,d} = 0.97/(0.26 \cdot 20.16) + 12.64/21.16 = 0.78 < 1.00 \quad (6.23)$

$(\text{Tau}_{z,d}/k_{cr})/f_{v,d} = (0.58/0.67)/2.52 = 0.34 < 1.00 \quad (6.13)$

LIMIT DISPLACEMENTS



Deflections (LOCAL SYSTEM):



Displacements (GLOBAL SYSTEM):

$v_x = 22 \text{ mm} < v_{\text{max},x} = L/150.00 = 27 \text{ mm}$ Verified

Governing load case: $SLS/112 = 1 \cdot 1 + 83 \cdot 1 + 78 \cdot 1 + 3 \cdot 1 \cdot 0,6 (1+83+78) \cdot 1.00 + 3 \cdot 0.60$

$v_y = 0 \text{ mm} < v_{\text{max},y} = L/150.00 = 27 \text{ mm}$ Verified

Governing load case: $SLS/112 = 1 \cdot 1 + 83 \cdot 1 + 78 \cdot 1 + 3 \cdot 1 \cdot 0,6 (1+83+78) \cdot 1.00 + 3 \cdot 0.60$

Section OK !!!

CODE: EN 1995-1:2004/A2:2014
ANALYSIS TYPE: Member Verification

CODE GROUP:

MEMBER: 7 Riiv

POINT: 3

COORDINATE: x = 1.00 L = 5.78 m

LOADS:

Governing Load Case: 109 ULS/109=1*1,2+1,2+77*1,5+3*1,5*0,5 (1+83)*1.20+77*1.50+3*0.90

MATERIAL GL28h

gM = 1.25 f m,0,k = 28.00 MPa f t,0,k = 22.30 MPa f c,0,k = 28.00 MPa
f v,k = 3.50 MPa f t,90,k = 0.50 MPa f c,90,k = 2.50 MPa E 0,moyen = 12600.00 MPa
E 0,05 = 10500.00 MPa G moyen = 650.00 MPa Service class: 1 Beta c = 0.10



SECTION PARAMETERS: GL 28h raam 2 riiv

ht=160 mm Ay=21333 mm² Az=21333 mm² Ax=32000 mm²
bf=200 mm Iy=68266665 mm⁴ Iz=106666666 mm⁴ Ix=573735684 mm⁴
tw=80 mm Wy=853333 mm³ Wz=1066667 mm³
tf=80 mm

STRESSES

Sig_c,0,d = N/Ax = 19.71/32000 = 0.62 MPa

Tau z,d = 1.5*-18.47/32000 = -0.87 MPa

ALLOWABLE STRESSES

f c,0,d = 20.16 MPa

f v,d = 2.52 MPa

Factors and additional parameters

kh = 1.10 kmod = 0.90 Ksys = 1.00 kcr = 0.67



LATERAL BUCKLING PARAMETERS:

BUCKLING PARAMETERS:

About Y axis:

LY = 5.78 m Lambda Y = 117.19
Lambda_rel Y = 1.93 ky = 2.44
LFY = 11.50 m kcy = 0.25



About Z axis:

VERIFICATION FORMULAS:

Sig_c,0,d/f c,0,d = 0.62/20.16 = 0.03 < 1.00 (6.23-4)

Sig_c,0,d/(kc*f c,0,d) = 0.62/(0.25*20.16) = 0.12 < 1.00 (6.23-4)

(Tau z,d/kcr)/f v,d = (0.87/0.67)/2.52 = 0.51 < 1.00 (6.13)

LIMIT DISPLACEMENTS



Deflections (LOCAL SYSTEM):

u fin,y = 0 mm < u fin,max,y = L/200.00 = 29 mm

Verified

Governing load case: (1+0.6)*1 + (0.6+0*0.6)*3 + (1+0.6)*83 + (1+0*0.6)*78

u fin,z = 3 mm < u fin,max,z = L/200.00 = 29 mm

Verified

Governing load case: (1+0.6)*1 + (0.6+0*0.6)*3 + (1+0.6)*83 + (1+0*0.6)*78



Displacements (GLOBAL SYSTEM):

Section OK !!!

CODE: EN 1995-1:2004/A2:2014
ANALYSIS TYPE: Member Verification

CODE GROUP:

MEMBER: 8 Riiv

POINT: 3

COORDINATE: x = 1.00 L = 5.78 m

LOADS:

Governing Load Case: 109 ULS/109=1*1,2+1,2+77*1,5+3*1,5*0,5 (1+83)*1.20+77*1.50+3*0.90

MATERIAL GL28h

$g_M = 1.25$ $f_{m,0,k} = 28.00$ MPa $f_{t,0,k} = 22.30$ MPa $f_{c,0,k} = 28.00$ MPa
 $f_{v,k} = 3.50$ MPa $f_{t,90,k} = 0.50$ MPa $f_{c,90,k} = 2.50$ MPa $E_{0,moyen} = 12600.00$ MPa
 $E_{0,05} = 10500.00$ MPa $G_{moyen} = 650.00$ MPa Service class: 1 Beta c = 0.10



SECTION PARAMETERS: GL 28h raam 2 riiv

$h_t = 520$ mm $A_y = 69333$ mm² $A_z = 69333$ mm² $A_x = 104000$ mm²
 $b_f = 200$ mm $I_y = 2343466738$ mm⁴ $I_z = 3466666668$ mm⁴ $I_x = 5706666667$ mm⁴
 $t_w = 100$ mm $W_y = 9013334$ mm³ $W_z = 3466667$ mm³
 $t_f = 100$ mm

STRESSES

$\text{Sig}_{c,0,d} = N/A_x = 58.34/104000 = 0.56$ MPa
 $\text{Sig}_{m,y,d} = M_Y/W_y = 115.33/9013334 = 12.79$ MPa
 $\text{Tau}_{z,d} = 1.5 \cdot -48.14/104000 = -0.69$ MPa

ALLOWABLE STRESSES

$f_{c,0,d} = 20.16$ MPa
 $f_{m,y,d} = 21.34$ MPa
 $f_{v,d} = 2.52$ MPa

Factors and additional parameters

$k_h = 1.10$ $k_{h_y} = 1.06$ $k_{mod} = 0.90$ $K_{sys} = 1.00$ $k_{cr} = 0.67$



LATERAL BUCKLING PARAMETERS:

$l_{eff} = 5.20$ m $\lambda_{rel,m} = 0.46$
 $\text{Sig}_{cr} = 134.42$ MPa $k_{crit} = 1.00$

BUCKLING PARAMETERS:

About Y axis:

$L_Y = 5.78$ m $\lambda_Y = 117.19$
 $\lambda_{rel,Y} = 1.93$ $k_y = 2.44$
 $L_{FY} = 11.50$ m $k_{cy} = 0.25$



About Z axis:

VERIFICATION FORMULAS:

$\text{Sig}_{c,0,d}/(k_{cy} \cdot f_{c,0,d}) + \text{Sig}_{m,y,d}/f_{m,y,d} = 0.56/(0.25 \cdot 20.16) + 12.79/21.34 = 0.71 < 1.00$ (6.23)
 $\text{Sig}_{m,y,d}/(k_{crit} \cdot f_{m,y,d}) = 12.79/(1.00 \cdot 21.34) = 0.60 < 1.00$ (6.33)
 $(\text{Tau}_{z,d}/k_{cr})/f_{v,d} = (0.69/0.67)/2.52 = 0.41 < 1.00$ (6.13)

LIMIT DISPLACEMENTS



Deflections (LOCAL SYSTEM):

$u_{fin,y} = 0$ mm < $u_{fin,max,y} = L/200.00 = 29$ mm Verified
Governing load case: $(1+0.6) \cdot 1 + (0.6+0 \cdot 0.6) \cdot 3 + (1+0.6) \cdot 83 + (1+0 \cdot 0.6) \cdot 78$
 $u_{fin,z} = 4$ mm < $u_{fin,max,z} = L/200.00 = 29$ mm Verified
Governing load case: $(1+0.6) \cdot 1 + (0.6+0 \cdot 0.6) \cdot 3 + (1+0.6) \cdot 83 + (1+0 \cdot 0.6) \cdot 78$



Displacements (GLOBAL SYSTEM):

Section OK !!!

Lisa 5 Vahelae tala arvutused

CODE: EN 1995-1:2004/A2:2014

ANALYSIS TYPE: Member Verification

CODE GROUP:

MEMBER: 2 Timber Beam_2

POINT: 1

COORDINATE: x = 0.50 L = 2.50 m

LOADS:

Governing Load Case: 5 Arvutuslikud koormused (2+4)*1.50+1*1.20

MATERIAL GL28h

gM = 1.25

f_{m,0,k} = 28.00 MPa

f_{t,0,k} = 22.30 MPa

f_{c,0,k} = 28.00 MPa

f_{v,k} = 3.50 MPa

f_{t,90,k} = 0.50 MPa

f_{c,90,k} = 2.50 MPa

E_{0,moyen} = 12600.00 MPa

E_{0,05} = 10500.00 MPa

G_{moyen} = 650.00 MPa

Service class: 1

Beta_c = 0.10



SECTION PARAMETERS: GL28h 200x80

ht=200 mm

bf=80 mm

tw=40 mm

tf=40 mm

A_y=10667 mm²

I_y=53333333 mm⁴

W_y=533333 mm³

A_z=10667 mm²

I_z=8533333 mm⁴

W_z=213333 mm³

A_x=16000 mm²

I_x=25531733 mm⁴

STRESSES

Sig_{m,y,d} = MY/W_y = 8.14/533333 = 15.26 MPa

Tau_{z,d} = 1.5*-1.53/16000 = -0.14 MPa

ALLOWABLE STRESSES

f_{m,y,d} = 19.71 MPa

f_{v,d} = 2.24 MPa

Factors and additional parameters

kh_y = 1.10

k_{mod} = 0.80

K_{sys} = 1.00

k_{cr} = 0.67



LATERAL BUCKLING PARAMETERS:

l_{ef} = 4.50 m

Lambda_{rel,m} = 0.78

Sig_{cr} = 46.08 MPa

k_{crit} = 0.98

BUCKLING PARAMETERS:



About Y axis:



About Z axis:

VERIFICATION FORMULAS:

Sig_{m,y,d}/f_{m,y,d} = 15.26/19.71 = 0.77 < 1.00 (6.11)

Sig_{m,y,d}/(k_{crit}*f_{m,y,d}) = 15.26/(0.98*19.71) = 0.79 < 1.00 (6.33)

(Tau_{z,d}/k_{cr})/f_{v,d} = (0.14/0.67)/2.24 = 0.10 < 1.00 (6.13)

LIMIT DISPLACEMENTS



Deflections (LOCAL SYSTEM):

u_{fin,y} = 0 mm < u_{fin,max,y} = L/200.00 = 25 mm

Verified

Governing load case: (1+0.6)*1 + (1+0.3*0.6)*2 + (0.7+0.3*0.6)*4

u_{fin,z} = 19 mm < u_{fin,max,z} = L/200.00 = 25 mm

Verified

Governing load case: (1+0.6)*1 + (1+0.3*0.6)*2 + (0.7+0.3*0.6)*4



Displacements (GLOBAL SYSTEM):

Section OK !!!

CODE: EN 1995-1:2004/A2:2014

ANALYSIS TYPE: Member Verification

CODE GROUP:

MEMBER: 3 Timber Beam_3 **POINT:** 1

COORDINATE: x = 0.00 L = 0.00 m

LOADS:

Governing Load Case: 5 Arvutuslikud koormused (2+4)*1.50+1*1.20

MATERIAL GL28h

gM = 1.25 f_{m,0,k} = 28.00 MPa f_{t,0,k} = 22.30 MPa f_{c,0,k} = 28.00 MPa
f_{v,k} = 3.50 MPa f_{t,90,k} = 0.50 MPa f_{c,90,k} = 2.50 MPa E_{0,moyen} = 12600.00 MPa
E_{0,05} = 10500.00 MPa G_{moyen} = 650.00 MPa Service class: 1 Beta_c = 0.10



SECTION PARAMETERS: GL28h 200x80

ht=200 mm Ay=10667 mm² Az=10667 mm² Ax=16000 mm²
bf=80 mm Ay=10667 mm² Az=10667 mm² Ax=16000 mm²
tw=40 mm I_y=53333333 mm⁴ I_z=85333333 mm⁴ I_x=25531733 mm⁴
tf=40 mm W_y=5333333 mm³ W_z=2133333 mm³

STRESSES

Sig_{m,y,d} = MY/W_y = -7.66/533333 = -14.36 MPa

Tau_{z,d} = 1.5*7.66/16000 = 0.72 MPa

ALLOWABLE STRESSES

f_{m,y,d} = 19.71 MPa
f_{v,d} = 2.24 MPa

Factors and additional parameters

kh_y = 1.10 kmod = 0.80 K_{sys} = 1.00 k_{cr} = 1.00



LATERAL BUCKLING PARAMETERS:

l_{ef} = 0.90 m Lambda_{rel,m} = 0.35
Sig_{cr} = 230.39 MPa k_{crit} = 1.00

BUCKLING PARAMETERS:



About Y axis:



About Z axis:

VERIFICATION FORMULAS:

Sig_{m,y,d}/f_{m,y,d} = 14.36/19.71 = 0.73 < 1.00 (6.11)

Sig_{m,y,d}/(k_{crit}*f_{m,y,d}) = 14.36/(1.00*19.71) = 0.73 < 1.00 (6.33)

(Tau_{z,d}/k_{cr})/f_{v,d} = (0.72/1.00)/2.24 = 0.32 < 1.00 (6.13)

LIMIT DISPLACEMENTS



Deflections (LOCAL SYSTEM):

u_{fin,y} = 0 mm < u_{fin,max,y} = L/200.00 = 10 mm Verified

Governing load case: (1+0.6)*1 + (1+0.3*0.6)*2 + (0.7+0.3*0.6)*4

u_{fin,z} = 1 mm < u_{fin,max,z} = L/200.00 = 10 mm Verified

Governing load case: (1+0.6)*1 + (1+0.3*0.6)*2 + (0.7+0.3*0.6)*4



Displacements (GLOBAL SYSTEM):

Section OK !!!

Lisa 6 Vahelae peatala arvutused

CODE: EN 1995-1:2004/A2:2014

ANALYSIS TYPE: Member Verification

CODE GROUP:

MEMBER: 12 Timber beam_12 POINT: 1

COORDINATE: x = 0.00 L = 0.00 m

LOADS:

Governing Load Case: 5 Arvutuslikud koormused 2*1.50+1*1.20

MATERIAL GL28h

$g_M = 1.25$ $f_{m,0,k} = 28.00$ MPa $f_{t,0,k} = 22.30$ MPa $f_{c,0,k} = 28.00$ MPa
 $f_{v,k} = 3.50$ MPa $f_{t,90,k} = 0.50$ MPa $f_{c,90,k} = 2.50$ MPa $E_{0,moyen} = 12600.00$ MPa
 $E_{0,05} = 10500.00$ MPa $G_{moyen} = 650.00$ MPa Service class: 1 $Beta_c = 0.10$



SECTION PARAMETERS: GL28h 320x200

$h_t = 320$ mm $A_y = 42667$ mm² $A_z = 42667$ mm² $A_x = 64000$ mm²
 $b_f = 200$ mm $I_y = 546133333$ mm⁴ $I_z = 213333333$ mm⁴ $I_x = 517333333$ mm⁴
 $t_w = 100$ mm $W_y = 3413333$ mm³ $W_z = 2133333$ mm³
 $t_f = 100$ mm

STRESSES

$\text{Sig}_{m,y,d} = M_Y/W_y = -37.18/3413333 = -10.89$ MPa

$\text{Tau}_{z,d} = 1.5 * 69.21/64000 = 1.62$ MPa

ALLOWABLE STRESSES

$f_{m,y,d} = 16.70$ MPa

$f_{v,d} = 1.96$ MPa

Factors and additional parameters

$k_{h_y} = 1.06$ $k_{mod} = 0.70$ $K_{sys} = 1.00$ $k_{cr} = 1.00$



LATERAL BUCKLING PARAMETERS:

$l_{ef} = 2.54$ m $\text{Lambda}_{rel m} = 0.31$
 $\text{Sig}_{cr} = 287.09$ MPa $k_{crit} = 1.00$

BUCKLING PARAMETERS:



About Y axis:



About Z axis:

VERIFICATION FORMULAS:

$\text{Sig}_{m,y,d}/f_{m,y,d} = 10.89/16.70 = 0.65 < 1.00$ (6.11)

$\text{Sig}_{m,y,d}/(k_{crit} * f_{m,y,d}) = 10.89/(1.00 * 16.70) = 0.65 < 1.00$ (6.33)

$(\text{Tau}_{z,d}/k_{cr})/f_{v,d} = (1.62/1.00)/1.96 = 0.83 < 1.00$ (6.13)

LIMIT DISPLACEMENTS



Deflections (LOCAL SYSTEM):

$u_{fin,y} = 0$ mm $< u_{fin,max,y} = L/200.00 = 15$ mm

Verified

Governing load case: $(1+0.6)*1 + (1+0.3*0.6)*2$

$u_{fin,z} = 2$ mm $< u_{fin,max,z} = L/200.00 = 15$ mm

Verified

Governing load case: $(1+0.6)*1 + (1+0.3*0.6)*2$



Displacements (GLOBAL SYSTEM):

Section OK !!!

CODE: EN 1995-1:2004/A2:2014
ANALYSIS TYPE: Member Verification

CODE GROUP:

MEMBER: 18 Timber Beam_18 POINT: 3

COORDINATE: x = 1.00 L = 3.50 m

LOADS:

Governing Load Case: 5 Arvutuslikud koormused 2*1.50+1*1.20

MATERIAL GL28h

$gM = 1.25$	$f_{m,0,k} = 28.00 \text{ MPa}$	$f_{t,0,k} = 22.30 \text{ MPa}$	$f_{c,0,k} = 28.00 \text{ MPa}$
$f_{v,k} = 3.50 \text{ MPa}$	$f_{t,90,k} = 0.50 \text{ MPa}$	$f_{c,90,k} = 2.50 \text{ MPa}$	$E_{0,\text{moyen}} = 12600.00 \text{ MPa}$
$E_{0,05} = 10500.00 \text{ MPa}$	$G_{\text{moyen}} = 650.00 \text{ MPa}$	Service class: 1	Beta c = 0.10



SECTION PARAMETERS: GL28h 320x200

$ht = 320 \text{ mm}$			
$bf = 200 \text{ mm}$	$A_y = 42667 \text{ mm}^2$	$A_z = 42667 \text{ mm}^2$	$A_x = 64000 \text{ mm}^2$
$tw = 100 \text{ mm}$	$I_y = 546133333 \text{ mm}^4$	$I_z = 213333333 \text{ mm}^4$	$I_x = 517333333 \text{ mm}^4$
$tf = 100 \text{ mm}$	$W_y = 3413333 \text{ mm}^3$	$W_z = 2133333 \text{ mm}^3$	

STRESSES

$\text{Sig}_{m,y,d} = MY/W_y = -47.61/3413333 = -13.95 \text{ MPa}$

$\text{Tau}_{z,d} = 1.5 \cdot -79.89/64000 = -1.87 \text{ MPa}$

ALLOWABLE STRESSES

$f_{m,y,d} = 16.70 \text{ MPa}$

$f_{v,d} = 1.96 \text{ MPa}$

Factors and additional parameters

$k_{h,y} = 1.06$ $k_{\text{mod}} = 0.70$ $K_{\text{sys}} = 1.00$ $k_{\text{cr}} = 1.00$



LATERAL BUCKLING PARAMETERS:

$lef = 2.99 \text{ m}$ $\text{Lambda}_{\text{rel } m} = 0.34$
 $\text{Sig}_{\text{cr}} = 243.88 \text{ MPa}$ $k_{\text{crit}} = 1.00$

BUCKLING PARAMETERS:



About Y axis:



About Z axis:

VERIFICATION FORMULAS:

$\text{Sig}_{m,y,d}/f_{m,y,d} = 13.95/16.70 = 0.84 < 1.00$ (6.11)

$\text{Sig}_{m,y,d}/(k_{\text{crit}} \cdot f_{m,y,d}) = 13.95/(1.00 \cdot 16.70) = 0.84 < 1.00$ (6.33)

$(\text{Tau}_{z,d}/k_{\text{cr}})/f_{v,d} = (1.87/1.00)/1.96 = 0.96 < 1.00$ (6.13)

LIMIT DISPLACEMENTS



Deflections (LOCAL SYSTEM):

$u_{\text{fin},y} = 0 \text{ mm} < u_{\text{fin},\text{max},y} = L/200.00 = 18 \text{ mm}$

Verified

Governing load case: $(1+0.6) \cdot 1 + (1+0.3 \cdot 0.6) \cdot 2$

$u_{\text{fin},z} = 4 \text{ mm} < u_{\text{fin},\text{max},z} = L/200.00 = 18 \text{ mm}$

Verified

Governing load case: $(1+0.6) \cdot 1 + (1+0.3 \cdot 0.6) \cdot 2$



Displacements (GLOBAL SYSTEM):

Section OK !!!

CODE: EN 1995-1:2004/A2:2014
ANALYSIS TYPE: Member Verification

CODE GROUP:

MEMBER: 19 Timber beam_19 POINT: 1

COORDINATE: x = 0.00 L = 0.00 m

LOADS:

Governing Load Case: 5 Arvutuslikud koormused 2*1.50+1*1.20

MATERIAL GL28h

$g_M = 1.25$	$f_{m,0,k} = 28.00 \text{ MPa}$	$f_{t,0,k} = 22.30 \text{ MPa}$	$f_{c,0,k} = 28.00 \text{ MPa}$
$f_{v,k} = 3.50 \text{ MPa}$	$f_{t,90,k} = 0.50 \text{ MPa}$	$f_{c,90,k} = 2.50 \text{ MPa}$	$E_{0,\text{moyen}} = 12600.00 \text{ MPa}$
$E_{0,05} = 10500.00 \text{ MPa}$	$G_{\text{moyen}} = 650.00 \text{ MPa}$	Service class: 1	Beta c = 0.10



SECTION PARAMETERS: GL28h 320x200

$h_t = 320 \text{ mm}$			
$b_f = 200 \text{ mm}$	$A_y = 42667 \text{ mm}^2$	$A_z = 42667 \text{ mm}^2$	$A_x = 64000 \text{ mm}^2$
$t_w = 100 \text{ mm}$	$I_y = 546133333 \text{ mm}^4$	$I_z = 213333333 \text{ mm}^4$	$I_x = 517333333 \text{ mm}^4$
$t_f = 100 \text{ mm}$	$W_y = 3413333 \text{ mm}^3$	$W_z = 2133333 \text{ mm}^3$	

STRESSES

$\text{Sig}_{m,y,d} = MY/W_y = -47.61/3413333 = -13.95 \text{ MPa}$

$\text{Tau}_{z,d} = 1.5 * 69.27 / 64000 = 1.62 \text{ MPa}$

ALLOWABLE STRESSES

$f_{m,y,d} = 16.70 \text{ MPa}$

$f_{v,d} = 1.96 \text{ MPa}$

Factors and additional parameters

$k_{h,y} = 1.06$ $k_{\text{mod}} = 0.70$ $K_{\text{sys}} = 1.00$ $k_{\text{cr}} = 1.00$



LATERAL BUCKLING PARAMETERS:

$l_{\text{ef}} = 2.99 \text{ m}$ $\lambda_{\text{rel},m} = 0.34$
 $\text{Sig}_{\text{cr}} = 243.88 \text{ MPa}$ $k_{\text{crit}} = 1.00$

BUCKLING PARAMETERS:



About Y axis:



About Z axis:

VERIFICATION FORMULAS:

$\text{Sig}_{m,y,d} / f_{m,y,d} = 13.95 / 16.70 = 0.84 < 1.00$ (6.11)

$\text{Sig}_{m,y,d} / (k_{\text{crit}} * f_{m,y,d}) = 13.95 / (1.00 * 16.70) = 0.84 < 1.00$ (6.33)

$(\text{Tau}_{z,d} / k_{\text{cr}}) / f_{v,d} = (1.62 / 1.00) / 1.96 = 0.83 < 1.00$ (6.13)

LIMIT DISPLACEMENTS



Deflections (LOCAL SYSTEM):

$u_{\text{fin},y} = 0 \text{ mm} < u_{\text{fin},\text{max},y} = L / 200.00 = 17 \text{ mm}$

Verified

Governing load case: $(1+0.6)*1 + (1+0.3*0.6)*2$

$u_{\text{fin},z} = 1 \text{ mm} < u_{\text{fin},\text{max},z} = L / 200.00 = 17 \text{ mm}$

Verified

Governing load case: $(1+0.6)*1 + (1+0.3*0.6)*2$



Displacements (GLOBAL SYSTEM):

Section OK !!!

Lisa 7 Enimkoormatud posti arvutusfail

CODE: *EN 1995-1:2004/A2:2014*

ANALYSIS TYPE: *Member Verification*

CODE GROUP:

MEMBER: 13 *Timber Column_13*

POINT: 3

COORDINATE: *x = 1.00 L = 2.85 m*

LOADS:

Governing Load Case: 5 Arvutuslikud koormused 2*1.50+1*1.20

MATERIAL GL28h

gM = 1.25	f _{m,0,k} = 28.00 MPa	f _{t,0,k} = 22.30 MPa	f _{c,0,k} = 28.00 MPa
f _{v,k} = 3.50 MPa	f _{t,90,k} = 0.50 MPa	f _{c,90,k} = 2.50 MPa	E _{0,moyen} = 12600.00 MPa
E _{0,05} = 10500.00 MPa	G _{moyen} = 650.00 MPa	Service class: 1	Beta c = 0.10



SECTION PARAMETERS: GL28h 140x140

ht=140 mm	A _y =13067 mm ²	A _z =13067 mm ²	A _x =19600 mm ²
bf=140 mm	I _y =32013333 mm ⁴	I _z =32013333 mm ⁴	I _x =54006399 mm ⁴
tw=70 mm	W _y =457333 mm ³	W _z =457333 mm ³	
tf=70 mm			

STRESSES

Sig_{c,0,d} = N/A_x = 149.44/19600 = 7.62 MPa

ALLOWABLE STRESSES

f_{c,0,d} = 15.68 MPa

Factors and additional parameters

kh = 1.10 k_{mod} = 0.70 K_{sys} = 1.00



LATERAL BUCKLING PARAMETERS:

BUCKLING PARAMETERS:



About Y axis:

L_Y = 2.85 m Lambda_Y = 70.52
 Lambda_{rel Y} = 1.16 k_y = 1.21
 L_{FY} = 2.85 m k_{cy} = 0.63



About Z axis:

L_Z = 2.85 m Lambda_Z = 70.52
 Lambda_{rel Z} = 1.16 k_z = 1.21
 L_{FZ} = 2.85 m k_{cz} = 0.63

VERIFICATION FORMULAS:

Sig_{c,0,d}/f_{c,0,d} = 7.62/15.68 = 0.49 < 1.00 (6.23-4)]

Sig_{c,0,d}/(k_c*f_{c,0,d}) = 7.62/(0.63*15.68) = 0.77 < 1.00 (6.23-4)

LIMIT DISPLACEMENTS



Deflections (LOCAL SYSTEM):



Displacements (GLOBAL SYSTEM):

v_x = 0 mm < v_{max,x} = L/150.00 = 19 mm Verified

Governing load case: Koormused (1+2)*1.00

v_y = 0 mm < v_{max,y} = L/150.00 = 19 mm Verified

Governing load case: Koormused (1+2)*1.00

Section OK !!!

Lisa 8 Katuse soojustakistus

Piirde üksikute seksioonide soojustakistused

R_a

Mineraalvill

välisTEMP sisetemp

-5 21

Tarindi osa	kihi paksus d, m	λ	R	%R	Δt	-5	välisõhk
Välispind			0,130	1,64	0,43	-4,57	välispind
Soojustus-mineraalvi	0,05	0,033	1,515	19,11	4,97	0,40	kihtide
Soojustus-mineraalvi	0,2	0,033	6,061	76,44	19,88	20,27	sisepind
laudis	0,012	0,13	0,092	1,16	0,30	20,57	
Sisepind			0,130	1,64	0,43	21,00	
			R(m2K)/W	7,928	100		kontroll
			U W/m2K	0,126			sisepind

R_b

Karkass

välisTEMP sisetemp

-5 21

Tarindi osa	Kihi paksus d, m	Soojuseri-ju	R	%R	delta t	-5	
Välispind			0,130	5,39	1,40	-3,60	
Roovitus	0,05	0,13	0,385	15,93	4,14	0,54	välisõhk
Puit talad	0,2	0,13	1,538	63,73	16,57	17,11	välispind
Puit prussid	0,018	0,13	0,138	5,74	1,49	18,61	kihtide
Laudis	0,012	0,13	0,092	3,82	0,99	19,60	sisepind
Sisepind			0,130	5,39	1,40	21,00	
			R(m2K)/W	2,414	100		kontroll
			U W/m2K	0,414			sisepind

Leian R1T ülemise väärtuse

1. piirde üksikute seksioonide osapindalad (osakaalud), m²

A₁ = 0,52

A₂ = 0,08

$\Sigma A = 0,6$

2. piirde üksikute seksioonide soojustakistused, (m2K)/W

R_a = 7,928

R_b = 2,414

$$R_T' = \frac{A_a + A_b + \dots + A_n}{\frac{A_a}{R_{Ta}} + \frac{A_b}{R_{Tb}} + \dots + \frac{A_n}{R_{Tn}}}$$

3. Seksiooni osapindala jagatud tema soojustakistusega

A_a/R_a = 0,066

A_b/R_b = 0,033

$\Sigma A/R = 0,099$

4. R1T = $\Sigma A / \Sigma (A/R)$

R1T = 6,077 (m2K)/W

U1T = 0,165 W/m2K

Leian R2T alumise väärtuse

1. Mittehomogeensete materjalikihtide soojustakistused:

1.1 R = d / λ

R_{vill, 200} = 6,061

R_{karkass, 200} = 1,538

2. A_n/R
 $A_1/R_{\text{soojustus}} = 0,086$
 $A_2/R_{\text{karkass}} = 0,052$
 $\Sigma A_n/R = 0,138$

3. Üksiku osa soojustakistused, $\Sigma A/\Sigma A_n/R$
 $R_x = 4,354 \text{ (m}^2\text{K)/W}$

$$R_x = \frac{A_{xa} + A_{xb} + \dots + A_{xni}}{\frac{A_{xa}}{R_{xa}} + \frac{A_{xb}}{R_{xb}} + \dots + \frac{A_{xni}}{R_{xni}}}$$

1.2 $R=d/\lambda$
 $R_{\text{vill, 50}} = 1,515$
 $R_{\text{karkass, 50}} = 0,385$

2. A_n/R
 $A_1/R_{\text{vill}} = 0,343$
 $A_2/R_{\text{karkass}} = 0,208$
 $\Sigma A_n/R = 0,551$

3. Üksiku osa soojustakistused, $\Sigma A/\Sigma A_n/R$
 $R_x = 1,089 \text{ (m}^2\text{K)/W}$

4. Kogu soojustakistuse alumine piirväärtus

Tarindi osa	Kihi paksus d, m	Soojuseri-juhtivus λ	R	%R
Välispind			0,13	1,9
Roovitus/soojustus	0,05		1,09	15,8
Puit talad/soojustus	0,2		4,35	63,3
Puit prussid	0,018	0,13	1,09	15,8
Laudis	0,012	0,13	0,09	1,3
Sisepind			0,13	1,9
		$R_{2T}(\text{m}^2\text{K)/W}$	6,88	100,0
		$U_{2T}\text{W/m}^2\text{K}$	0,15	

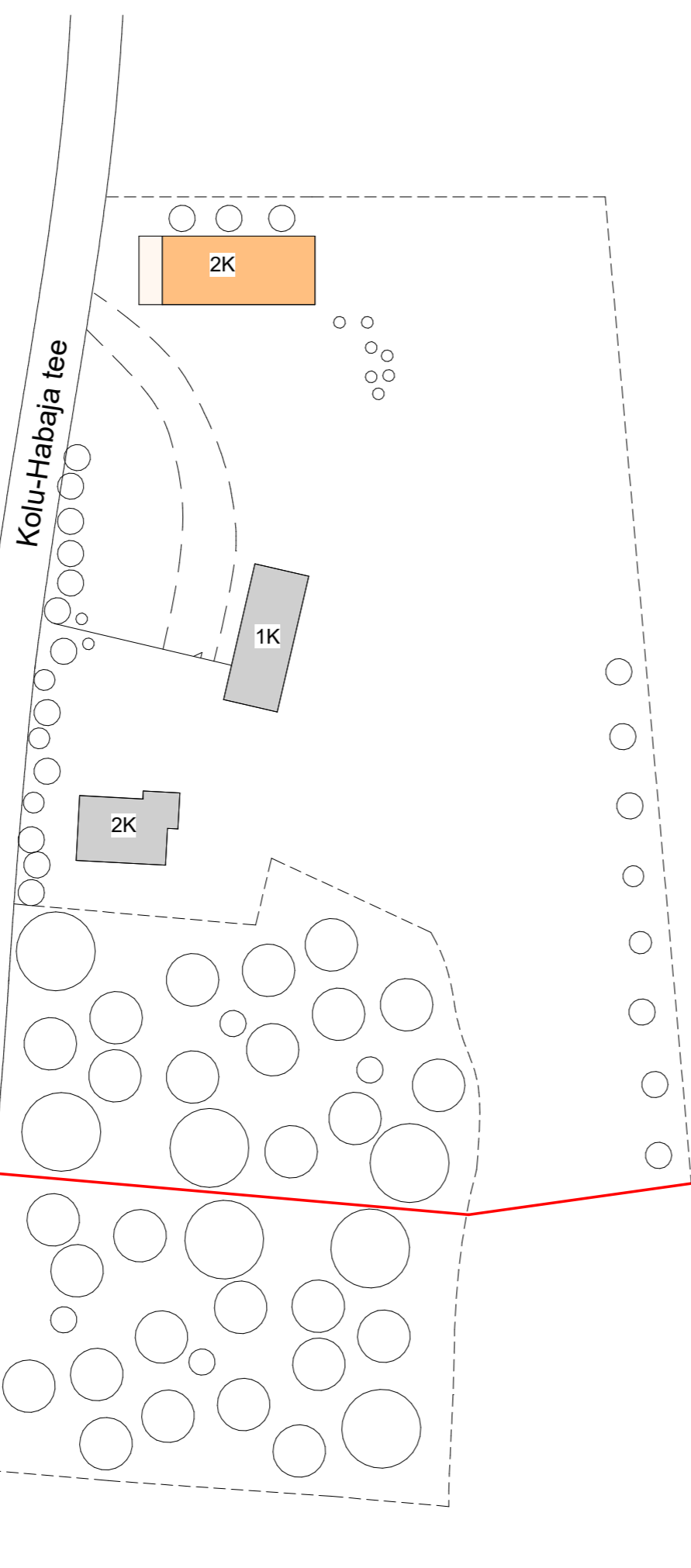
Piirdetarindi kogusoojustakistus ja soojusjuhtivus





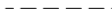


$RT = 6,480 \text{ (m}^2\text{K)/W}$
 $UT = 0,154 \text{ W/m}^2\text{K}$


$$R_T = \frac{R_T^i + R_T^n}{2}$$

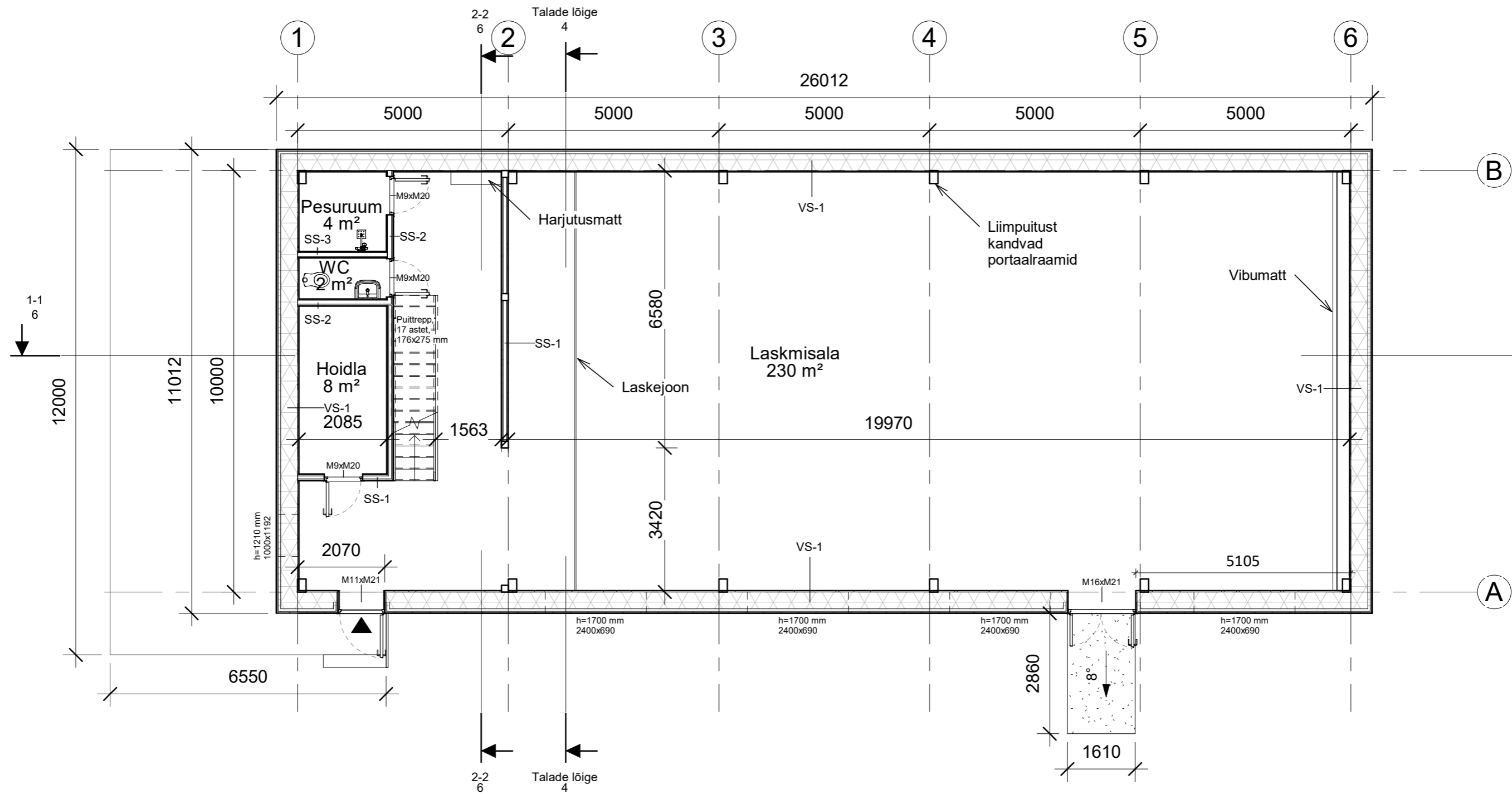
Maksimaalne suhteline arvutusviga, e
 $e = -6,22\%$


$$e = \frac{R_T^i - R_T^n}{2 \times R_T} \times 100\%$$

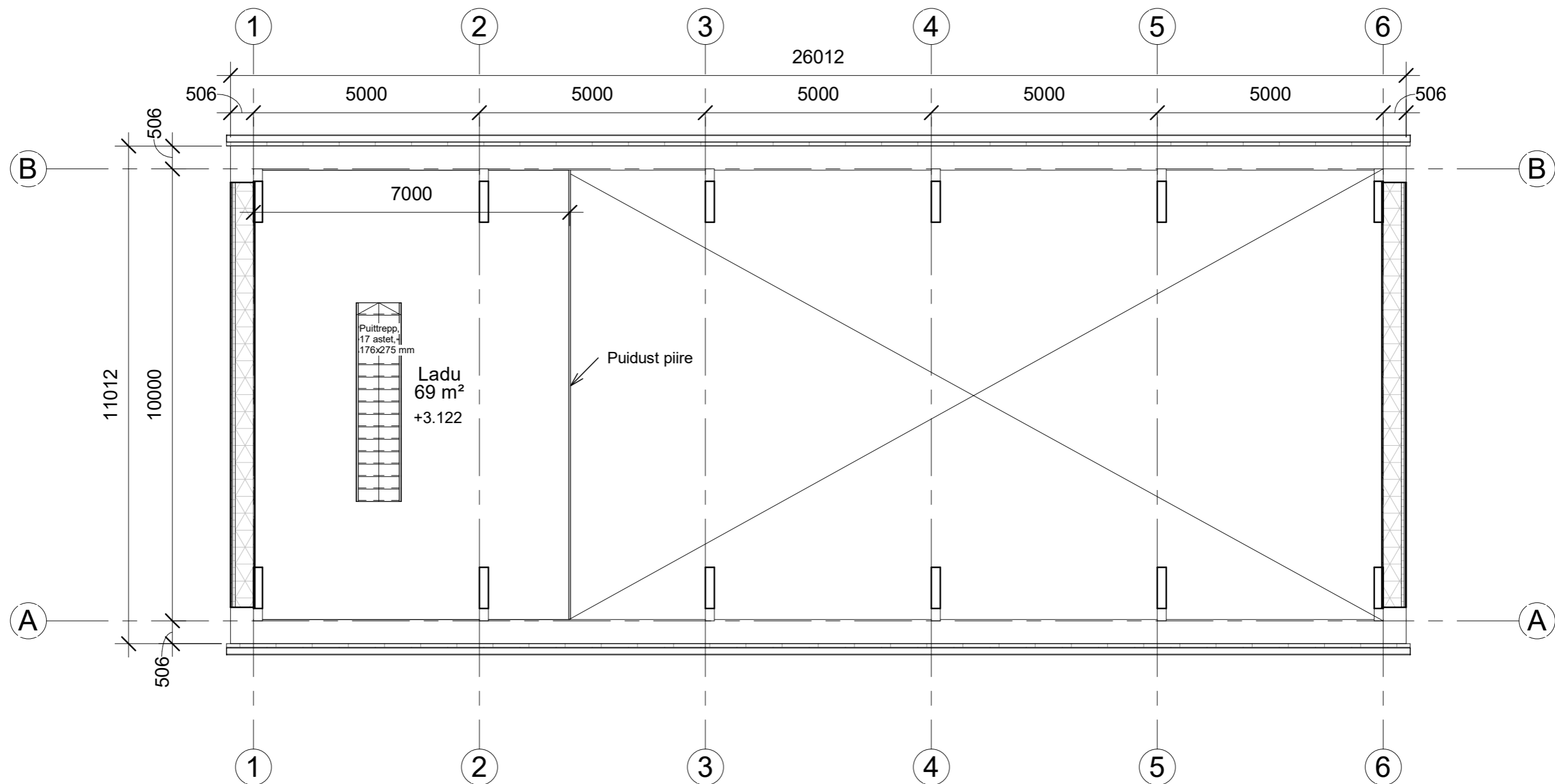



-  Projekteeritav hoone
-  Olemasolevad hooned
-  Katastri piir
-  Tee piir
-  Metsa/põllu eralduspiir
-  Aed
-  Puu/võsa

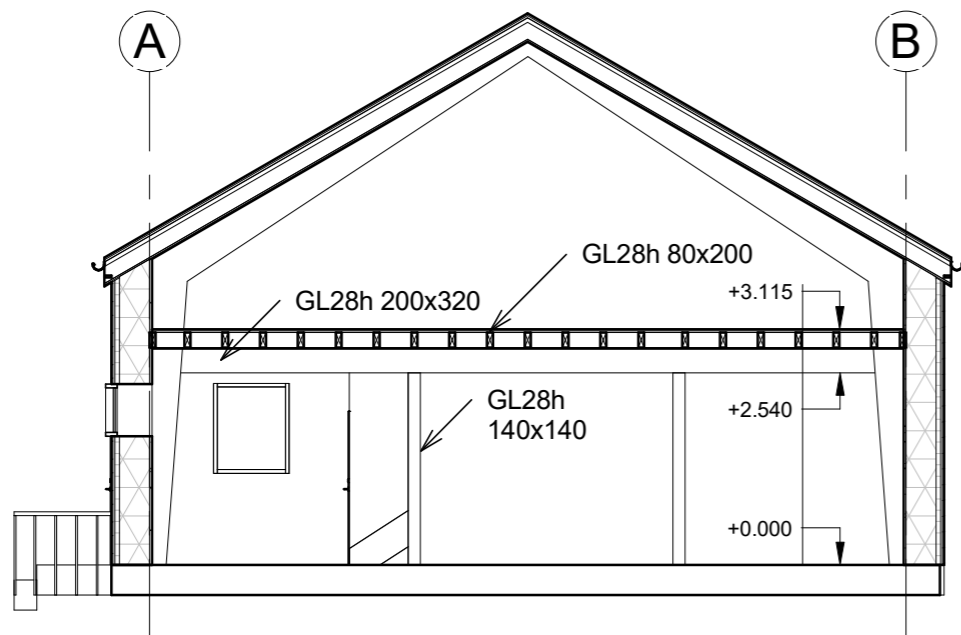
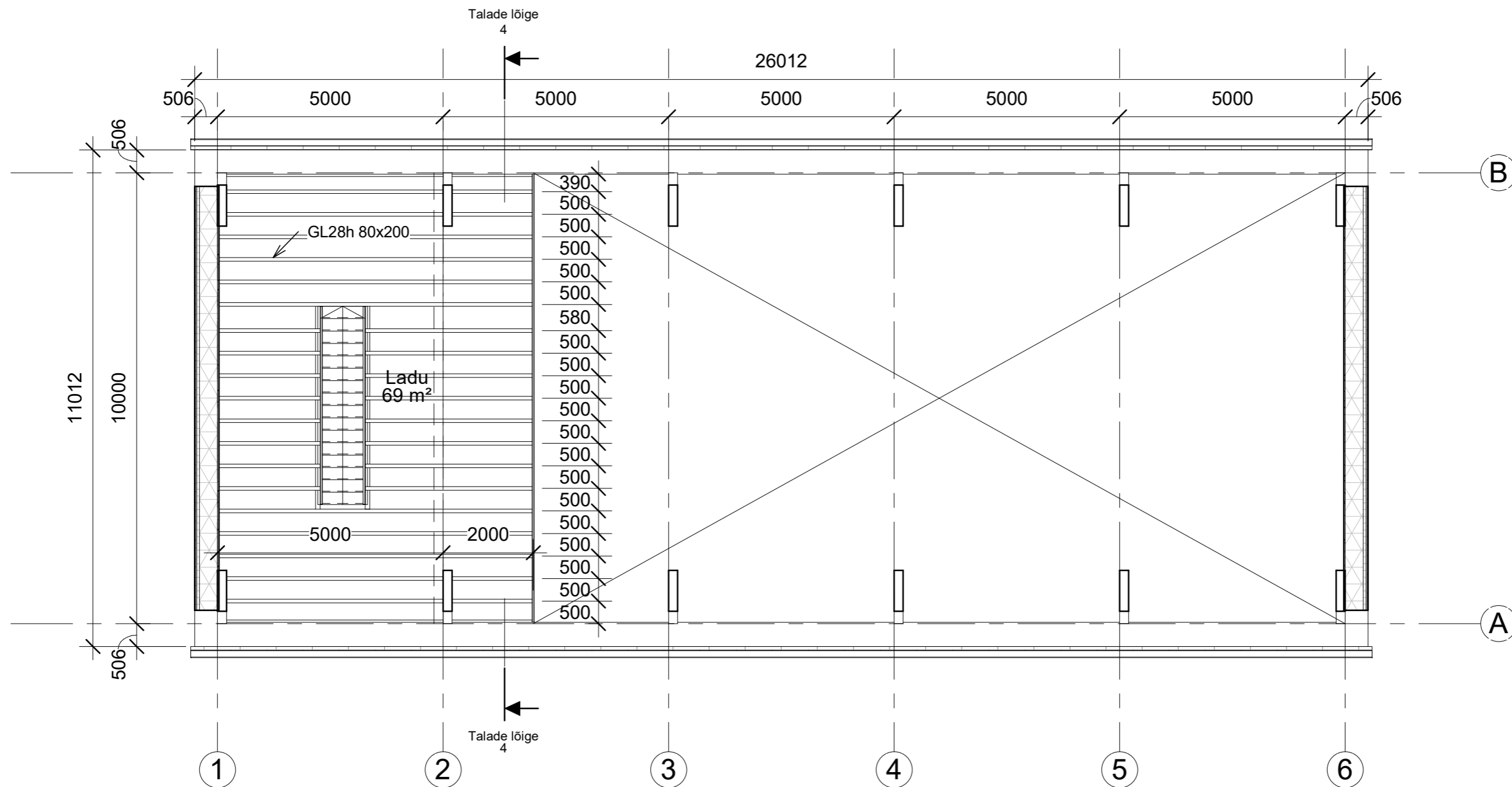
 TTÜ INSENERITEADUSKOND		Magistritöö		Möötkava: 1 : 100
Koostaja: Johanna Vaida		Nimetus: Kangru talu asendiplaan	Formaat: A3	
Juhendaja: Ragnar Pabort, Mikk Luht			Leht/lehti: 1	
Tartu kolledž		Põhupaneelidest vibuspordi treeninghoone arhitektuurne lahendus ja kandvate raamkonstruktsioonide võrdlus		




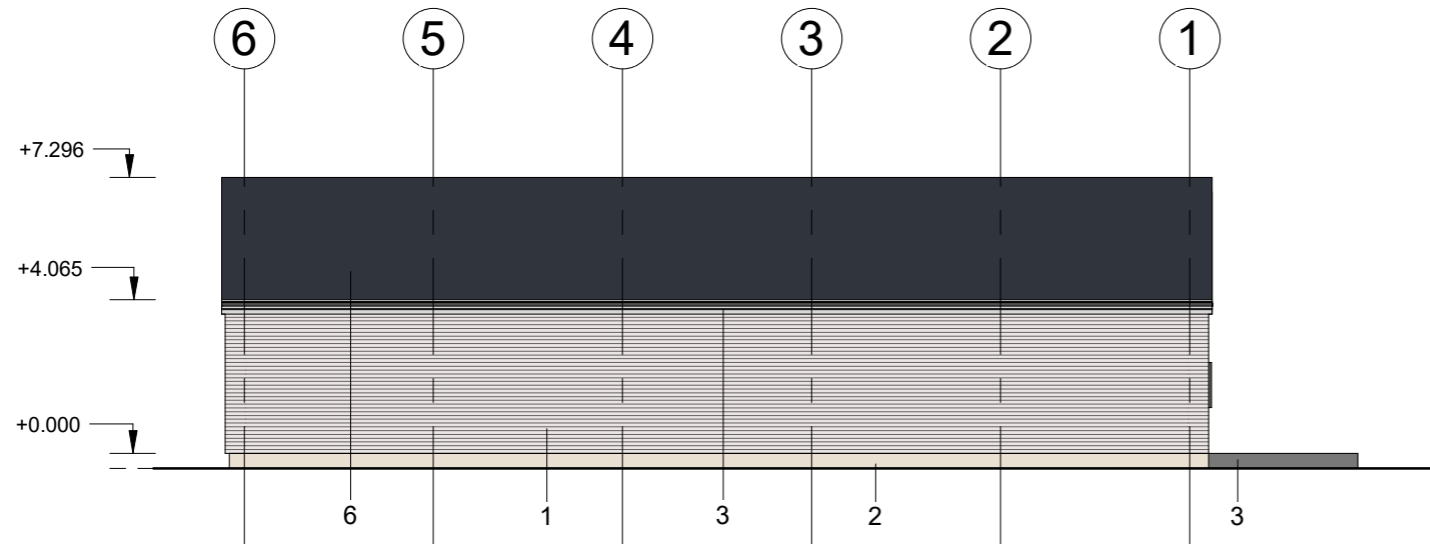
 TTÜ INSENERITEADUSKOND		Magistritöö		Möötkava: 1 : 100
Koostaja: Johanna Vaida		1. korruse plaan		Formaat: A3
Juhendaja: Ragnar Pabort, Mikk Luht				Leht/lehti: 2
Tartu kolledž		Põhupaneelidest vibuspordi treeninghoone arhitektuurne lahendus ja kandvate raamkonstruktsioonide võrdlus		



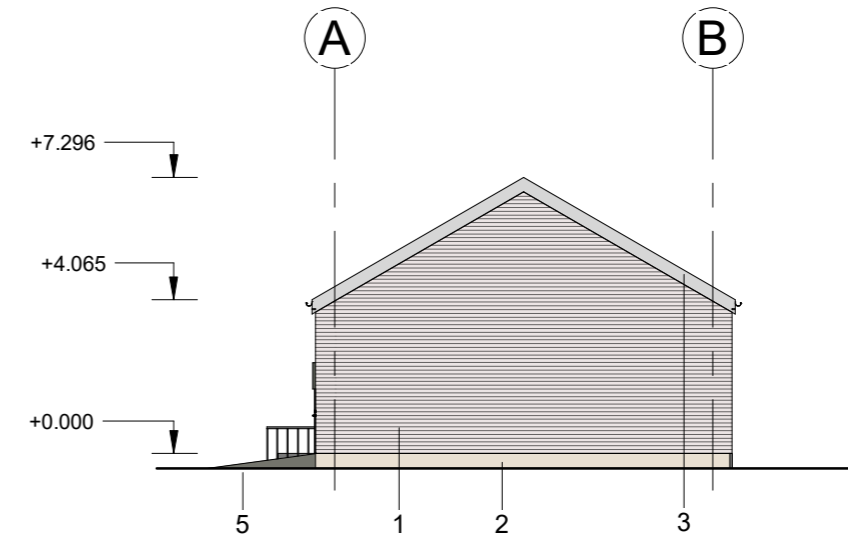
 TTÜ INSENERITEADUSKOND		Magistritöö		Möötkava: 1 : 100
Koostaja: Johanna Vaida		2. korruse plaan		Formaat: A3
Juhendaja: Ragnar Pabort, Mikk Luht				Leht/lehti: 3
Tartu kolledž		Põhupaneelidest vibuspordi treeninghoone arhitektuurne lahendus ja kandvate raamkonstruktsioonide võrdlus		



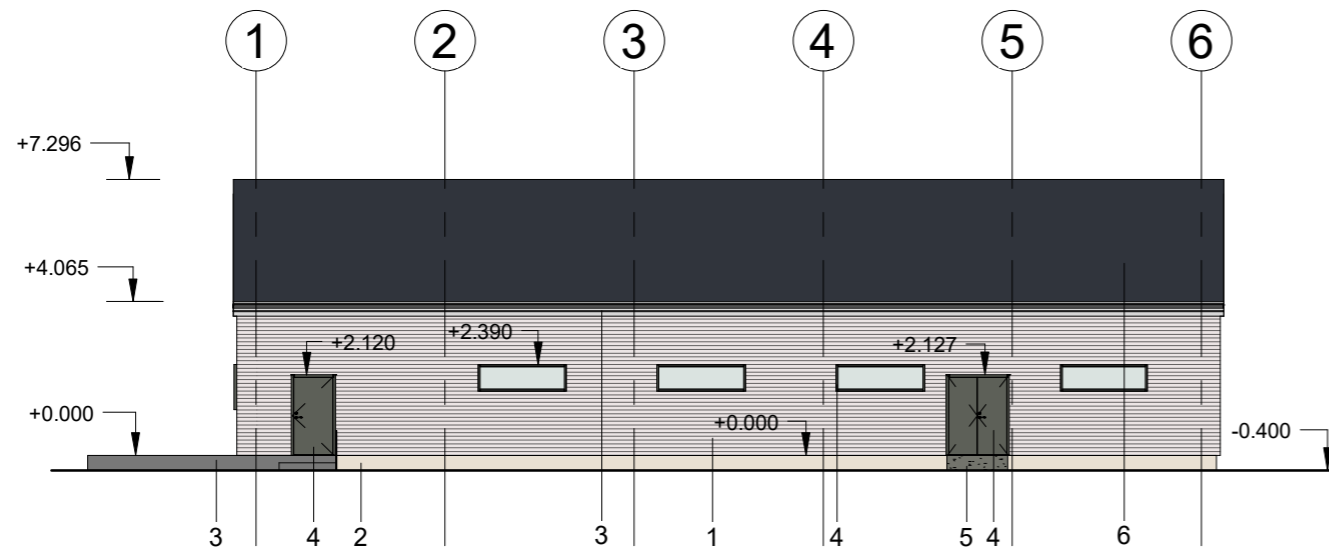
 TTÜ INSENERITEADUSKOND		Magistritöö	Mõõtkava: 1 : 100
Koostaja: Johanna Vaida		Nimetus: Vahelae kandjad	Formaati: A3
Juhendaja: Ragnar Pabort, Mikk Luht			Leht/lehti: 4
Tartu kolledž		Põhupaneelidest vibuspordi treeninghoone arhitektuurne lahendus ja kandvate raamkonstruktsioonide võrdlus	



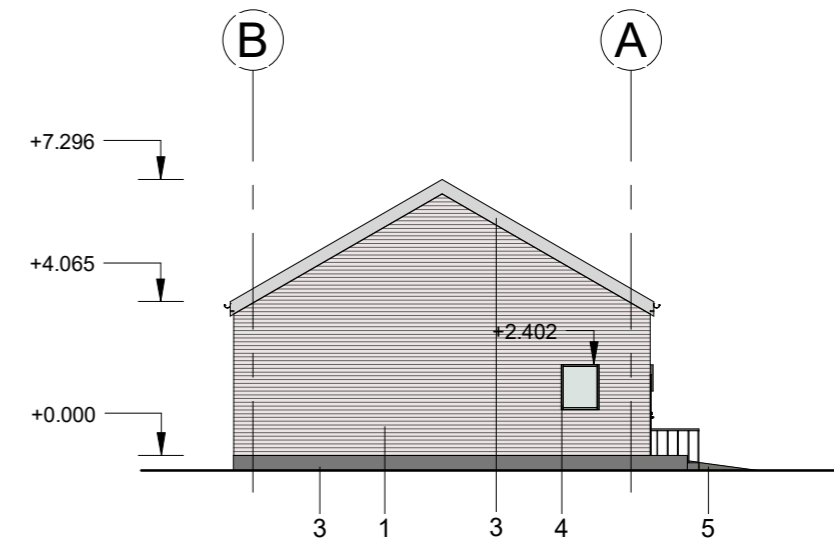
1 Põhi
1 : 200



2 Ida
1 : 200




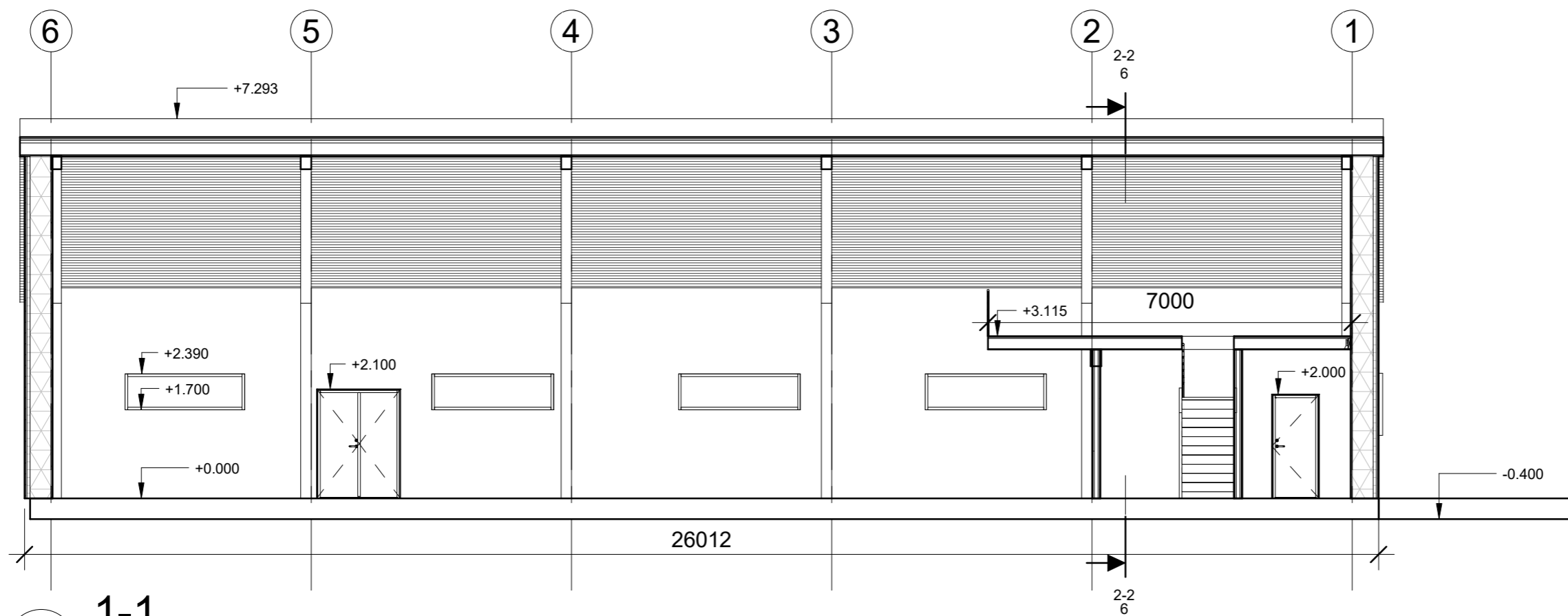
3 Lõuna
1 : 200



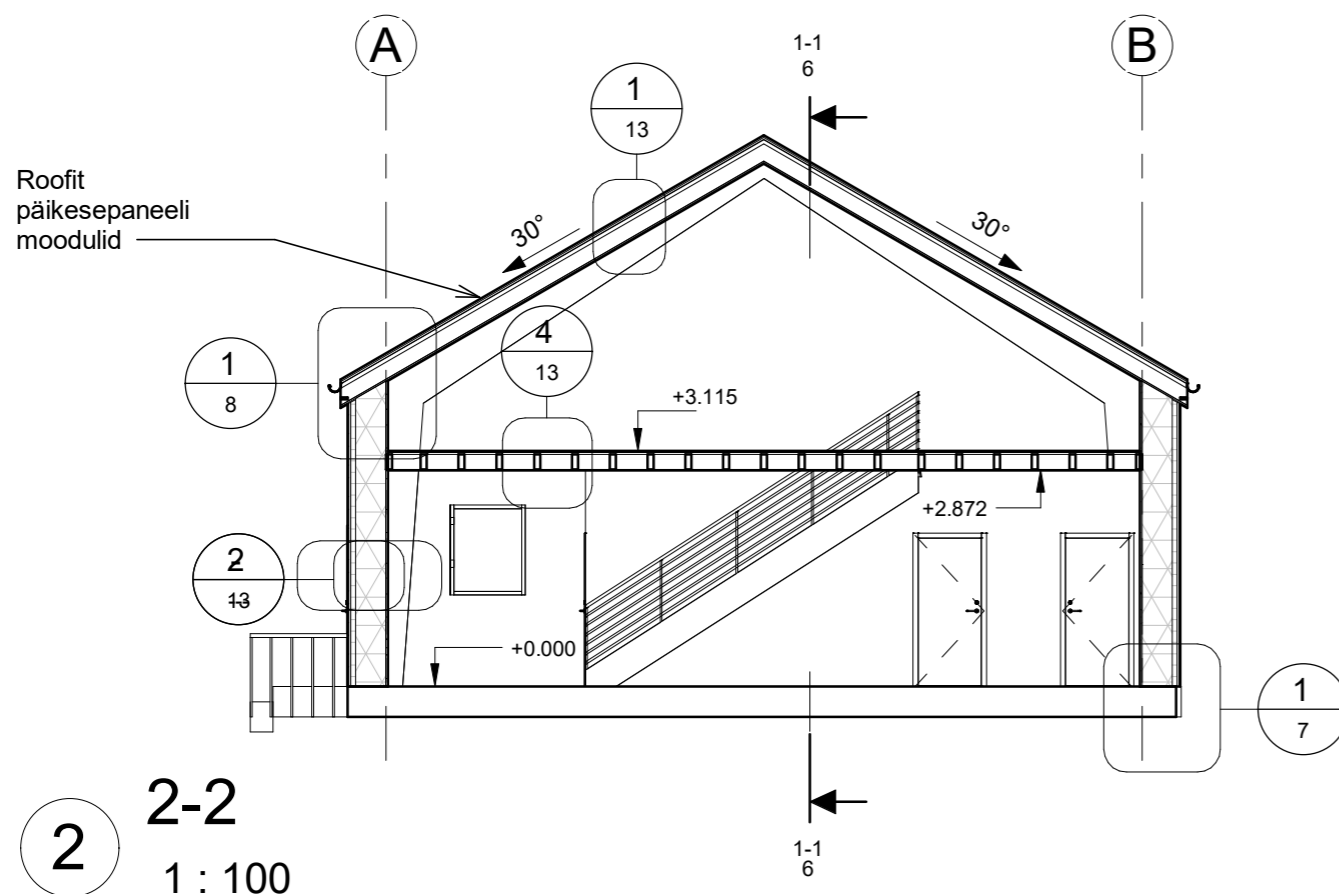
4 Lääs
1 : 200

- 1- Fassadilauad/värv RAL9001
- 2- Lubikrohv/Kreemvalge
- 3- Terrassilauad/mänd
- 4- Värv RAL 7009
- 5- Betoon
- 6- Katuseplekk/ RAL 9011


 TTÜ INSENERITEADUSKOND		Magistritöö	Möötkava: 1 : 200
Koostaja: Johanna Vaida		Nimetus: Vaated	Formaat: A3
Juhendaja: Ragnar Pabort, Mikk Luht			Leht/lehti: 5
Tartu kolledž		Põhupaneelidest vibuspordi treeninghoone arhitektuurne lahendus ja kandvate raamkonstruktsioonide võrdlus	

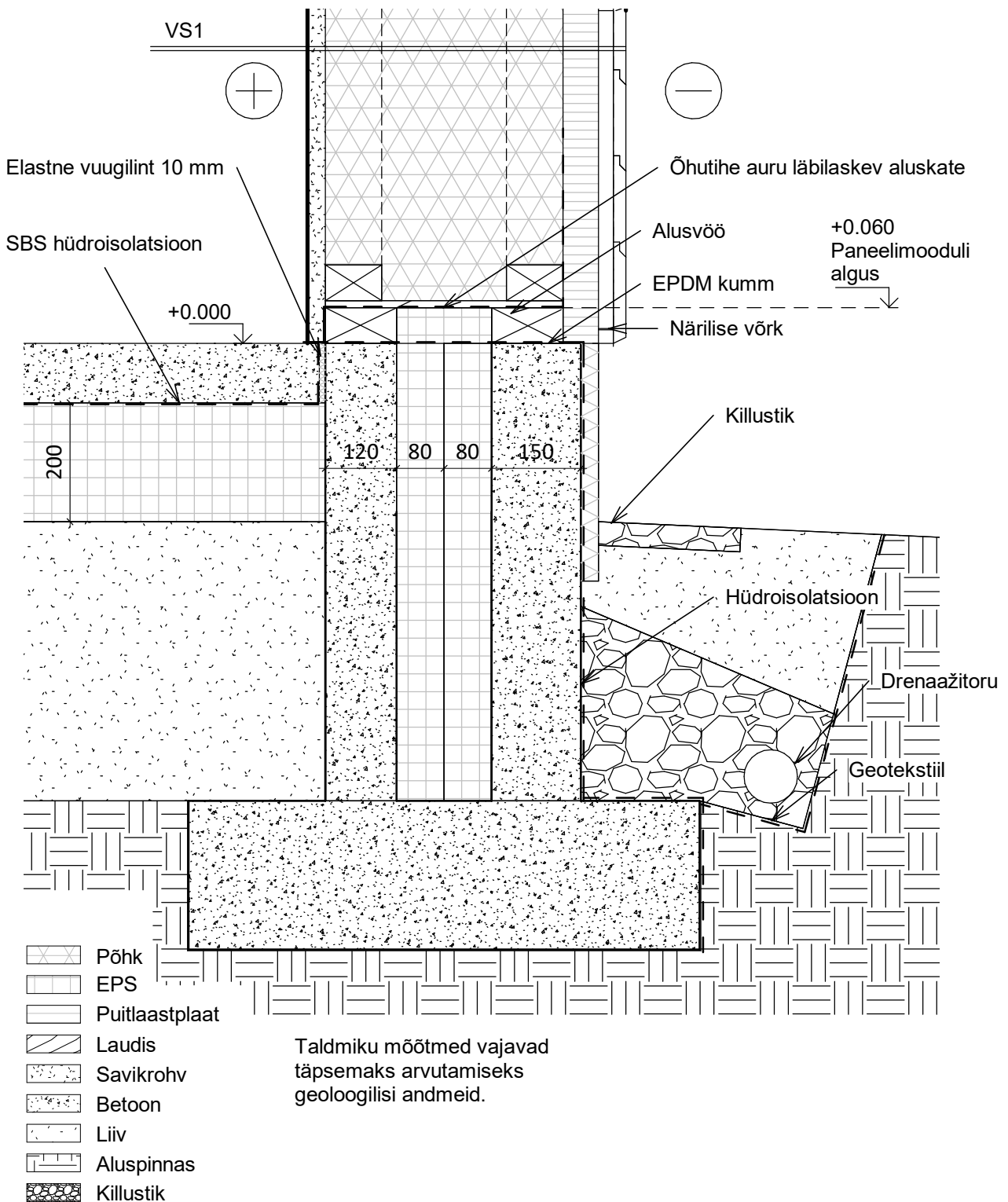



1-1
1 : 100

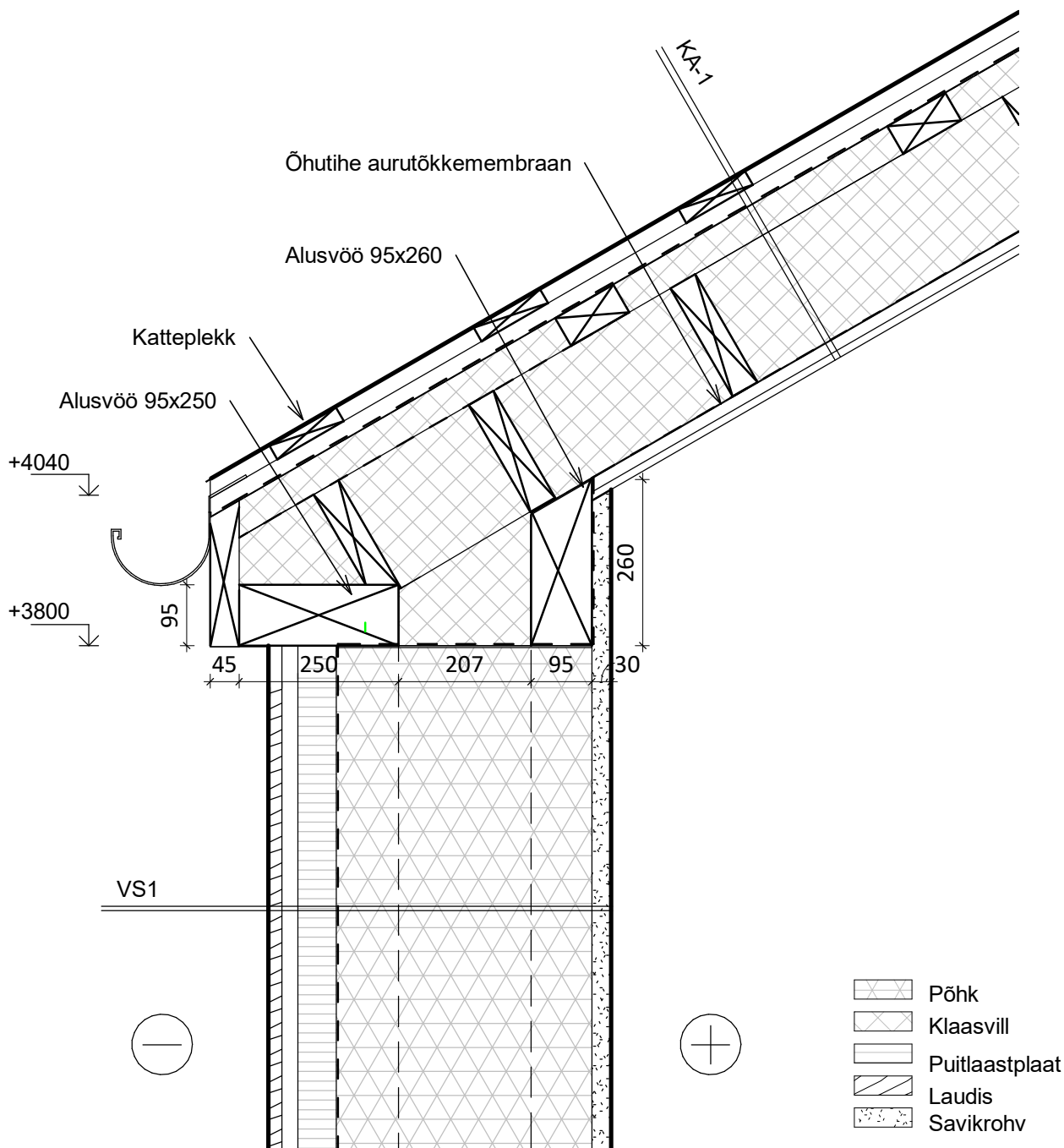


2-2
1 : 100

 TTÜ INSENERITEADUSKOND		Magistritöö		Möötkava: 1 : 100
Koostaja: Johanna Vaida		Lõiked		Formaat: A3
Juhendaja: Ragnar Pabort, Mikk Luht				Leht/lehti: 6
Tartu kolledž		Põhupaneelidest vibuspordi treeninghoone arhitektuurne lahendus ja kandvate raamkonstruktsioonide võrdlus		



 TTÜ INSENERITEADUSKOND		Magistritöö	Mõõtkaava: 1:10
Koostaja: Johanna Vaida		Nimetus: Soklisõlm	Formaat: A4
Juhendaja: Ragnar Pabort, Mikk Luht			Leht/lehti: 7
Tartu kolledž		Põhupaneelidest vibuspordi treeninghoone arhitektuurne lahendus ja kandvate raamkonstruktsioonide võrdlus	



TAL TECH TTÜ INSENERITEADUSKOND

Magistritöö

Möötkava:

1:10

Koostaja:
Johanna Vaida

Nimetus:
Räästasõlm

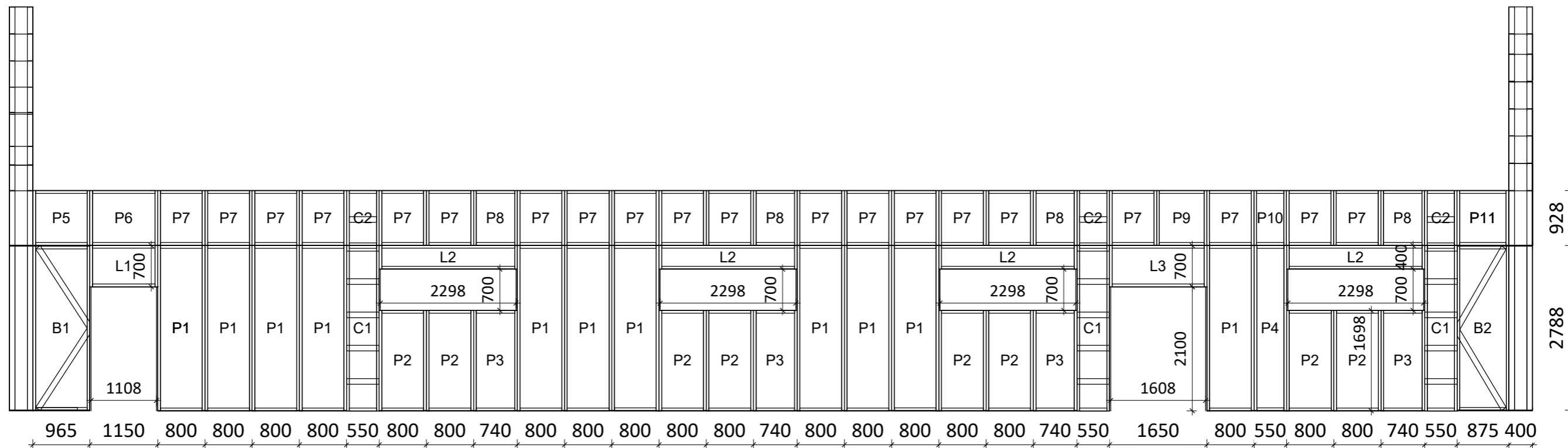
Formaat:
A4

Juhendaja:
Ragnar Pabort, Mikk Luht

Leht/lehti:
8


Tartu kolledž

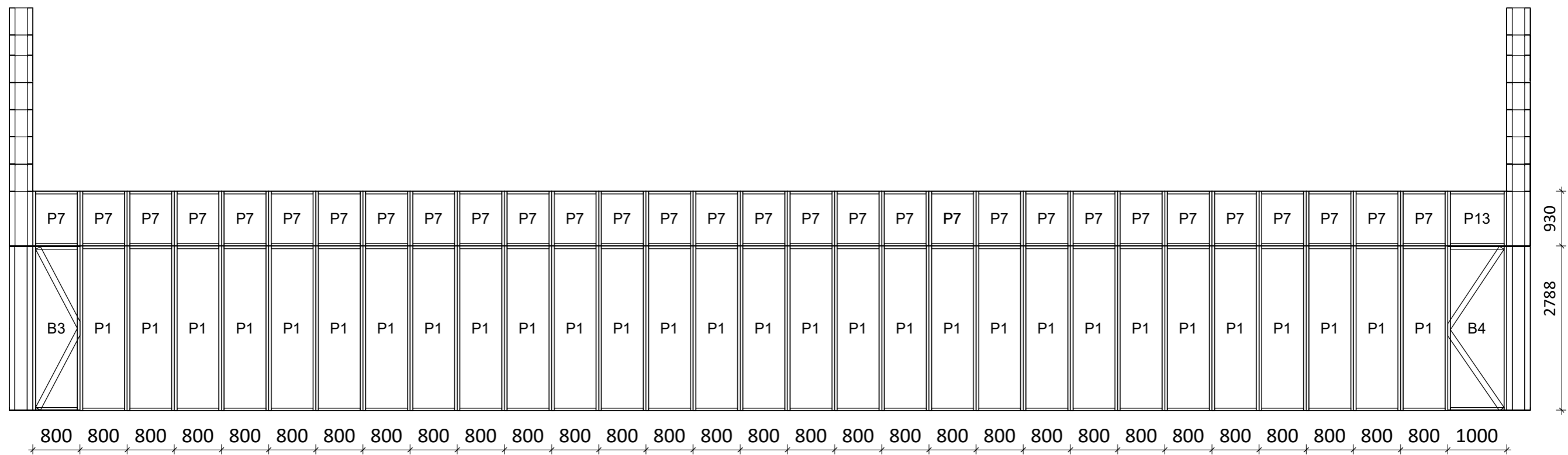
Põhupaneelidest vibuspordi treeninghoone arhitektuurne lahendus ja kandvate raamkonstruktsioonide võrdlus



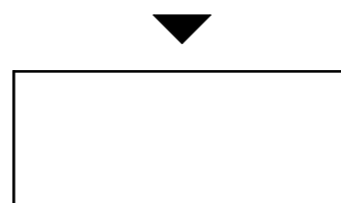
Lõuna




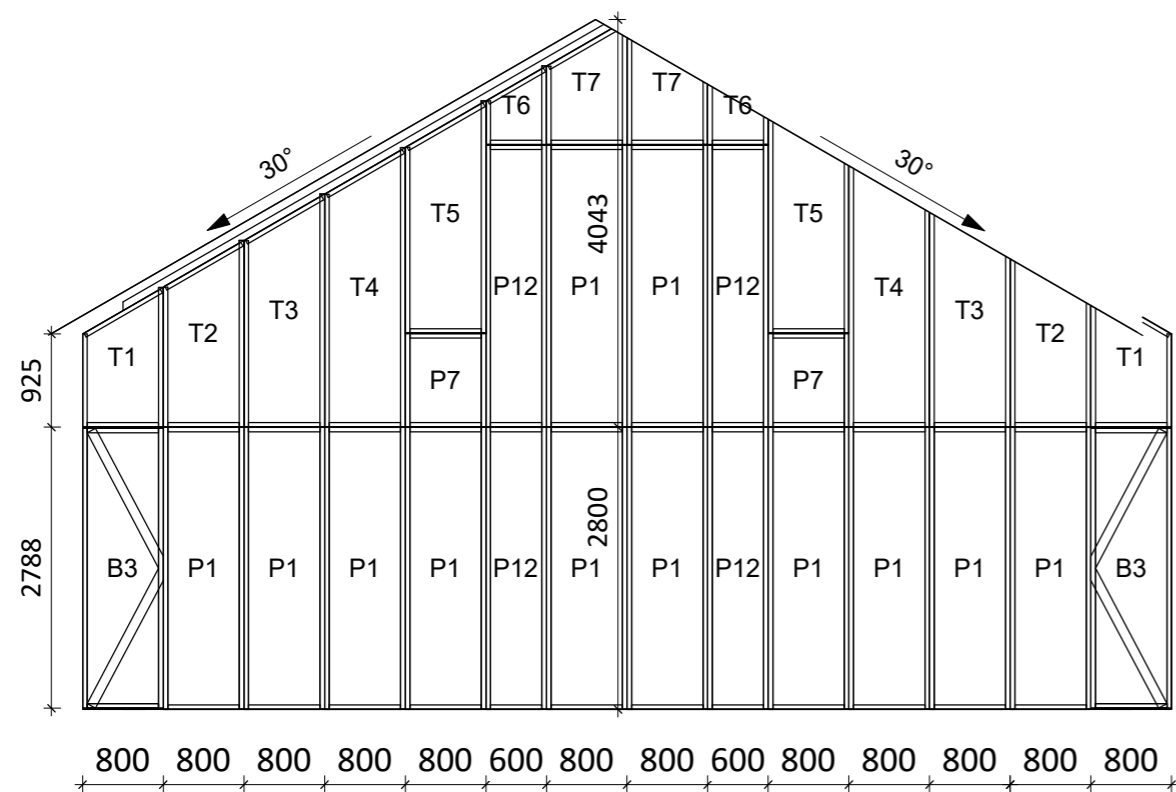
 TTÜ INSENERITEADUSKOND		Magistritöö	Mõõtkava: 1 : 75
Koostaja: Johanna Vaida		Nimetus: Lõuna külje paneelide jaotus	Formaat: A3
Juhendaja: Ragnar Pabort, Mikk Luht			Leht/lehti: 9
Tartu kolledž		Põhupaneelidest vibuspordi treeninghoone arhitektuurne lahendus ja kandvate raamkonstruktsioonide võrdlus	



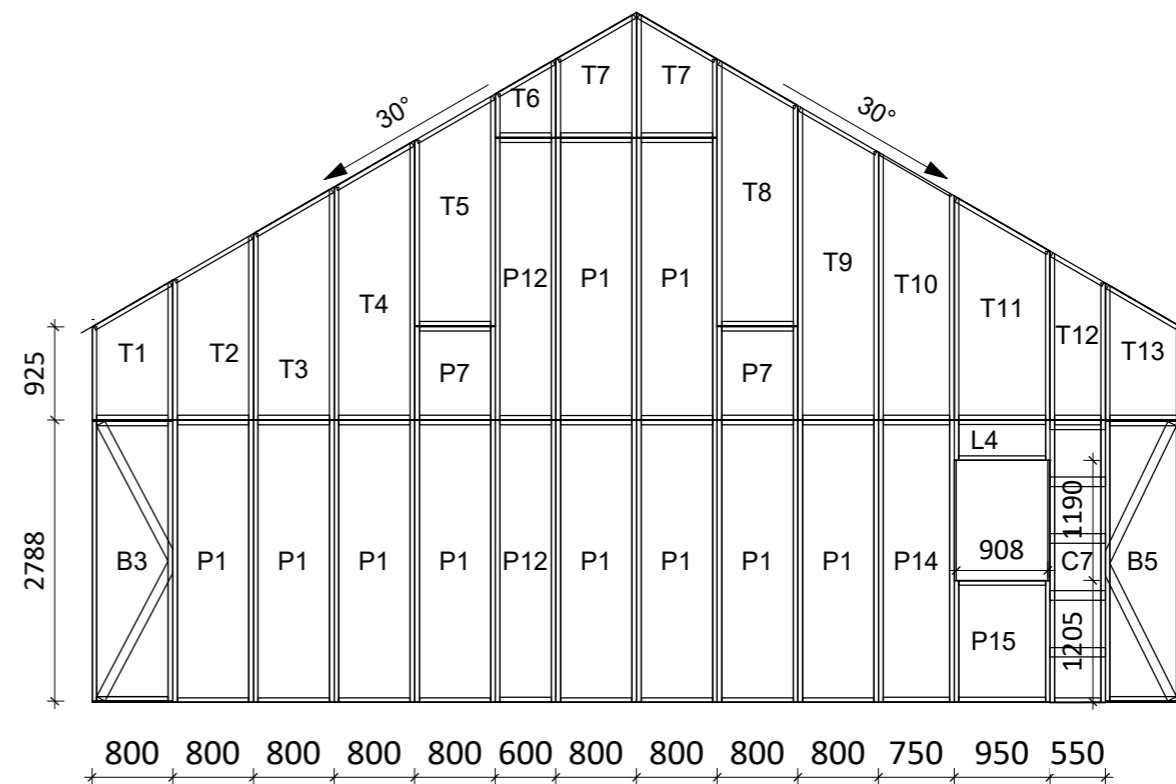
Põhi



 TTÜ INSENERITEADUSKOND		Magistritöö	Mõõtkava: 1 : 75
Koostaja: Johanna Vaida		Põhja külje paneelide jaotus	Formaat: A3
Juhendaja: Ragnar Pabort, Mikk Luht			Leht/lehti: 10
Tartu kolledž		Põhupaneelidest vibuspordi treeninghoone arhitektuurne lahendus ja kandvate raamkonstruktsioonide võrdlus	




Ida



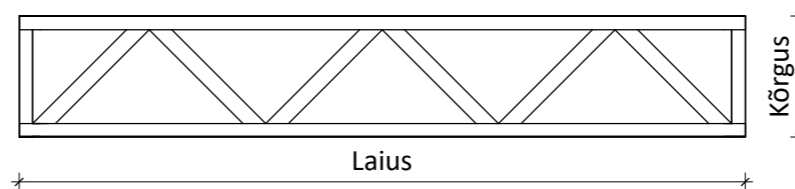
Lääs



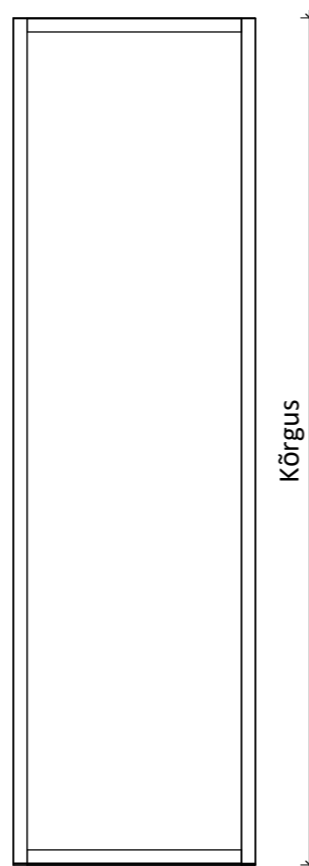
 TTÜ INSENERITEADUSKOND		Magistritöö		Mõõtkava: 1 : 75
Koostaja: Johanna Vaida		Nimetus: Ida ja lääne külje paneelide jaotus		Formaati: A3
Juhendaja: Ragnar Pabort, Mikk Luht				Leht/lehti: 11
Tartu kolledž		Põhupaneelidest vibuspordi treeninghoone arhitektuurne lahendus ja kandvate raamkonstruktsioonide võrdlus		

EcoCocon paneelide spetsifikatsioon

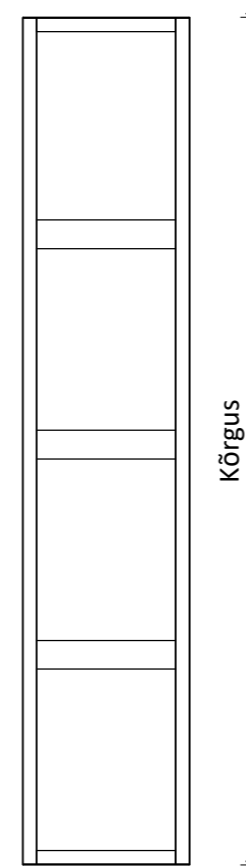
Paneeli kood	Kogus	Laius	Kõrgus	Kaldpaneeli kõrgus
B1	1	965	2800	
B2	1	875	2800	
B3	4	800	2800	
B4	1	1000	2800	
B5	1	750	2800	
C1	3	550	2800	
C2	3	550	930	
C7	1	550	2800	
L1	1	1150	700	
L2	4	2340	400	
L3	1	1650	700	
L4	1	950	400	
P1	62	800	2800	
P2	8	800	1700	
P3	4	740	1700	
P4	1	550	2800	
P5	1	965	930	
P6	1	1150	930	
P7	55	800	930	
P8	4	740	930	
P9	1	850	930	
P10	1	550	930	
P11	1	875	930	
P12	6	600	2800	
P13	1	1000	930	
P14	1	750	2800	
P15	1	950	1210	
T1	3	800	925	1387
T2	3	800	1390	1852
T3	3	800	1850	2312
T4	3	800	2310	2772
T5	3	800	1845	2307
T6	3	600	435	781
T7	4	800	780	1242
T8	1	800	2190	2652
T9	1	800	2660	3122
T10	1	750	2250	2683
T11	1	950	1675	2223
T12	1	550	1360	1678
T13	1	750	925	1358



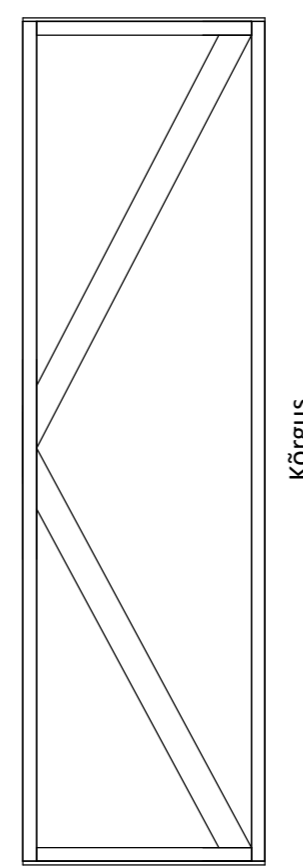
L - Sille



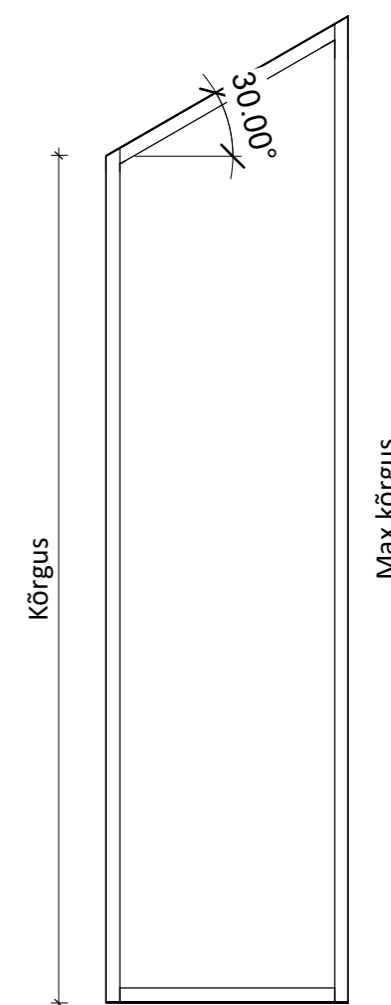
P - Standardne paneel




C - Post

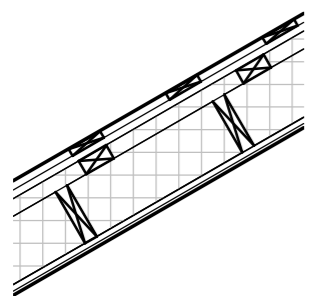


B - Tugevdustega



T - Kaldega paneel

 TTÜ INSENERITEADUSKOND		Magistritöö	Mõõtkava: 1 : 25
Koostaja: Johanna Vaida		Nimetus: EcoCocon paneelide spetsifikatsioon	Formaati: A3
Juhendaja: Ragnar Pabort, Mikk Luht			Leht/lehti: 12
Tartu kolledž		Põhupaneelidest vibuspordi treeninghoone arhitektuurne lahendus ja kandvate raamkonstruktsioonide võrdlus	

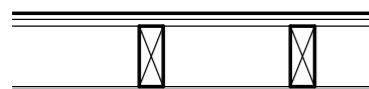


Katuslagi - KA-1
 Valtsprofiil
 Roovitus horisontaalne 25x120 s250
 Roovitus 25x45 s400
 Hingav aluskate
 Roovitus 50x100 s600/soojustus
 Roovitus GL28h 200x80 s600/soojustus
 Aurutõke
 Roovitus 18x100 s500
 Laudis 12x120

U=0,154 W/m²K



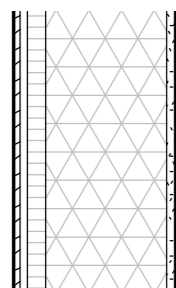
Sisesein - SS-1
 Savikrohv 20mm
 Roomatt
 Laudis 25mm
 Puitkarkass 70mm
 Laudis 25mm
 Roomatt
 Savikrohv 20mm



Vahelagi - VL-1
 Laudis 21mm
 Puitlaastplaat 22mm
 GL28h talad 220x120mm
 Laudis 12mm



Sisesein - SS-2
 Savikrohv 20mm
 Roomatt
 Laudis 25mm
 Puitkarkass 95mm
 Kipsplaat Fermacell 10mm
 Hüdroisolatsioon
 Lubjapõhine krohv 20mm




Välissein - VS-1
 Laudis
 tuulutusvahe 25mm
 Puitkiudplaat 60mm
 Difuusne õhutihe kangas
 EcoCocon põhupaneel 400mm
 Savikrohv 30mm


U=0,123 W/m²K



Sisesein - SS-3
 Lubjapõhine krohv 20mm
 Hüdroisolatsioon
 Kipsplaat Fermacell 10mm
 Puitkarkass 95mm
 Kipsplaat Fermacell 10mm
 Hüdroisolatsioon
 Lubjapõhine krohv 20mm

 TTÜ INSENERITEADUSKOND		Magistritöö		Möötkava: 1 : 25
Koostaja: Johanna Vaida		Tarindid	Nimetus:	Formaat: A3
Juhendaja: Ragnar Pabort, Mikk Luht			Leht/lehti: 13	
Tartu kolledž		Põhupaneelidest vibuspordi treeninghoone arhitektuurne lahendus ja kandvate raamkonstruktsioonide võrdlus		



 TTÜ INSENERITEADUSKOND		Magistritöö	Möötkava:
Koostaja: Johanna Vaida		Nimetus: Ilupildid	Formaat: A3
Juhendaja: Ragnar Pabort, Mikk Luht			Leht/lehti: 14
Tartu kolledž		Põhupaneelidest vibuspordi treeninghoone arhitektuurne lahendus ja kandvate raamkonstruktsioonide võrdlus	