



TALLINNA TEHNICAÜLIKOOL
INSENERITEADUSKOND
Tartu Kolledž

**KASARMU TN 3 NELJAKORRUSELISE ÄRI- JA
KORTERMAJA KANDEKONSTRUKTSIOONIDE
PÕHIMÕTTELINE LAHENDUS JA KAUPLUSE
VAHELAE KONSTRUKTIIVNE PROJEKT**

**PRINCIPLE SOLUTION OF LOAD-BEARING STRUCTURES
FOR A FOUR-STOREY COMMERCIAL AND APARTMENT
BUILDING AT KASARMU 3 AND DETAILED DESIGN FOR
A STORE CEILING**

MAGISTRITÖÖ

Üliõpilane: Merike Suits

Üliõpilaskood: 177630EAEI

Juhendaja: Eero Tuhkanen

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.

20.05.2022

Autor: Merike Suits

/ allkirjastatud digitaalselt /

Töö vastab magistritööle esitatud nõuetele

20.05.2022

Juhendaja: Eero Tuhkanen

/ allkirjastatud digitaalselt /

Kaitsmisele lubatud

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

Kaitsmiskomisjoni esimees

/ nimi ja allkiri /

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks¹

Mina Merike Suits (*autori nimi*)

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose „Kasarmu tn 3 neljakorruselise äri- ja kortermaja kandekonstruktsioonide põhimõtteline lahendus ja kaupluse vahelae konstruktiivne projekt“,
(*lõputöö pealkiri*)

mille juhendaja on Eero Tuhkanen

(*juhendaja nimi*)

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

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

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

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

20.05.2022 (kuupäev)

¹ 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 loomingu tegevusega ning lõputöö kaas- või ühisautor(id) ei ole andnud lõputööd kaitsvale üliõpilasele kindlaksmääratud tähtjaks 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: Merike Suits, 177630EAEI
Õppekava, peaariala: EAEI02/17 - Ehitiste projekteerimine ja ehitusjuhtimine
Juhendaja(d): Lektor Eero Tuhkanen, +372 520 6399

Lõputöö teema:

(eesti keeles) Kasarmu tn 3 neljakorruselise äri- ja kortermaja kandekonstruktsioonide põhimõtteline lahendus ja kaupluse vahelae konstruktiivne projekt

(inglise keeles) *Principle Solution of Load-bearing Structures for a Four-storey Commercial and Apartment Building at Kasarmu 3 and Detailed Design for a Store Ceiling*

Lõputöö põhieesmärgid:

1. Kirjeldada hoone kandekonstruktsioonide põhimõttelist lahendust ning anda ülevaade ruum-moodulitest ehitamise olulistest aspektidest.
2. Koostada kaupluse vahelae konstruktiivne projekt.

Lõputöö etapid ja ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Kaupluse osa vahelae kandeskeemi ja kihtide paikapanemine ning koormuste leidmine	28.02.22
2.	Vahelae kandekonstruktsioonide dimensioneerimine ja tulepüsivuse analüüs	31.03.22
3.	Korterite sektsiooni põhimõtteline lahendus ruum-moodulitega	29.04.22
4.	Jooniste ja töö lõplik vormistamine	20.05.22

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

Üliõpilane: Merike Suits 20.05.2022
/allkirjastatud digitaalselt /

Juhendaja: Eero Tuhkanen 20.05.2022
/allkirjastatud digitaalselt /

Programmijuht: Aime Ruus 20.05.2022
/allkirjastatud digitaalselt /

SISUKORD

Lühendite ja tähiste loetelu.....	7
SISSEJUHATUS	11
1. PROJEKTEERITAVA HOONE KIRJELDUS	13
1.1. Hoone funktsioonid osade kaupa	13
1.2. Hoone arhitektuur	14
1.3. Hoone kandekonstruktsioonid	15
1.4. Hoone tehnilised andmed	15
2. KORTERITE SEKTSIOONI PÕHIMÕTTELINE LAHENDUS RUUM-MOODULITEGA	16
2.1. Mooduliteks jagamise põhimõtted.....	16
2.1.1. Tootmisest tulenevad põhimõtted.....	16
2.1.2. Transpordist ja paigaldamisest tulenevad põhimõtted	17
2.1.3. Tehnosüsteemide asukohad.....	18
2.2. Jäikuse tagamine	19
2.3. Ehitusfüüsika põhimõtted	20
2.3.1. Helipidavus.....	20
2.3.2. Soojapidavus	21
2.3.3. Õhutihedus.....	21
2.3.4. Veepidavus.....	22
2.4. Tuleohutus	23
3. KAUPLUSE VAHELAE KANDESKEEM JA KIHID	24
3.1. Kandeskeem	24
3.2. Vahelae konstruktsioon	25
4. KAUPLUSE VAHELAELE MÕJUVAD KOORMUSED	27
4.1. Metoodika	27
4.2. Ristkihtliimpuidust paneel.....	28
4.2.1. Koormused	28
4.2.2. Koormuskombinatsioonid	28
4.2.3. Sisejõud	30
4.3. Liimpuidust tala	30
4.3.1. Koormused	30
4.3.2. Koormuskombinatsioonid	30
4.3.3. Sisejõud	32
4.4. Liimpuidust post.....	33
4.4.1. Koormused	33
4.4.2. Koormuskombinatsioonid ja sisejõud	35
5. KAUPLUSE VAHELAE ARVUTUS KANDE- JA KASUTUSPIIRSEISUNDIS	37
5.1. Metoodika	37
5.2. Ristkihtliimpuidust paneelide arvutus	38
5.2.1. Paindekandevõime kontroll	38
5.2.2. Nihkekandevõime kontroll	40
5.2.3. Survekandevõime kontroll ristikiudu	41
5.2.4. Läbipainde kontroll	42
5.2.5. Vibratsioonid	44
5.3. Liimpuidust talade arvutus.....	48
5.3.1. Tala laiuse ja kõrguse leidmine	49
5.3.2. Paindekandevõime kontroll	50
5.3.3. Kiivekandevõime kontroll	51
5.3.4. Nihkekandevõime kontroll	51
5.3.5. Survekandevõime kontroll ristikiudu	52
5.3.6. Läbipainded	54
5.4. Liimpuidust postide arvutus	55
5.4.1. Posti mõõtmete valik	55
5.4.2. Tsentrilise surve kontroll	56
5.4.3. Stabiilsuse kontroll	57
6. KAUPLUSE VAHELAE TULEPÜSIVUS.....	59

6.1.	Metoodika	59
6.2.	Elementide sestumissugavused	61
6.2.1.	Ristkihtliimpuidust paneeli sestumissugavus	61
6.2.2.	Liimpuidust tala sestumissugavus	62
6.2.3.	Liimpuidust posti sestumissugavus	63
6.3.	Ristkihtliimpuidust paneeli tulepüsivus	63
6.3.1.	Paindekandevõime kontroll	63
6.3.2.	Nihkekandevõime kontroll	64
6.3.3.	Survekandevõime kontroll ristikiudu	65
6.4.	Liimpuidust tala tulepüsivus.....	65
6.4.1.	Paindekandevõime kontroll	65
6.4.2.	Kiivekandevõime kontroll	66
6.4.3.	Nihkekandevõime kontroll	66
6.4.4.	Survekandevõime kontroll ristikiudu	67
6.5.	Liimpuidust posti tulepüsivus	68
6.5.1.	Tsentrilise surve kontroll	68
6.5.2.	Stabiilsuse kontroll	69
	KOKKUVOTE	70
	SUMMARY.....	72
	KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU	74
	LISAD	77
	Lisa 1 CLT paneelide kontrollarvutus programmiga CLT Designer	77
	Lisa 2 Liimpuidust neljasildelise jätkuvtala kontrollarvutus programmiga Autodesk Robot Structural Analysis Professional	83
	Lisa 3 Liimpuidust posti kontrollarvutus programmiga Autodesk Robot Structural Analysis Professional	88
	GRAAFILINE OSA.....	89
	Hoone arhitektuurne lahendus.....	90
	Korterite sekstiooni moodulite jaotus	97
	Kaupluse vahelae konstruktiivsed joonised.....	100

Lühendite ja tähiste loetelu

Ladina suurtähed

A	-	ristlõike pindala
A_d	-	erakorriline koormus
A_{ef}	-	efektiivne kontaktpind ristikiudu survele
A_{red}	-	ristlõike redutseeritud pindala
B	-	põranda laius
CLT	-	ristkihtliimpuit (ingl k <i>cross-laminated timber</i>)
$E_{0,g,05}$	-	liimpuidu elastsusmooduli 5-protsentiili väärtus pikisuunas
$E_{0,g,mean}$	-	liimpuidu elastsusmooduli keskväärtus pikisuunas
$E_{90,g,05}$	-	liimpuidu elastsusmooduli 5-protsentiili väärtus ristisuunas
$E_{90,g,mean}$	-	liimpuidu elastsusmooduli keskväärtus ristisuunas
$(EI)_b$	-	efektiivne paindejäikus nõrgemas suunas
$(EI)_{ef}$	-	efektiivne paindejäikus tugevamas suunas
F	-	koondatud koormus
$F_{c,90,d}$	-	arvutuslik survejõud ristikiudu
F_0	-	vertikaalne koormus inimese liikumisest suurusega 700 N
$G_{g,05}$	-	liimpuidu nihkemooduli 5-protsentiili väärtus
$G_{g,mean}$	-	liimpuidu nihkemooduli keskväärtus
$G_{k,j}$	-	alaliskoormuse j normväärtus
$G_{r,g,05}$	-	liimpuidu külgnihkemooduli 5-protsentiili väärtus
$G_{r,g,mean}$	-	liimpuidu külgnihkemooduli keskväärtus
I	-	inertsimoment
L	-	sildepikkus
L_{ef}	-	lihttala efektiivne pikkus
M_d	-	paindemomendi arvutusväärtus
M^*	-	modaalmass
OSB	-	orienteeritud laastuga plaat (ingl k <i>oriented structural board</i>)
$Q_{k,1}$	-	domineeriva muutuvkoormuse normväärtus
$Q_{k,i}$	-	kaasneva muutuvkoormuse normväärtus
R	-	vastetegur
R_B	-	toereaktsioon toel B
S	-	staatiline moment
V_d	-	põikjõu arvutusväärtus
W_y	-	ristlõike tugevusmoment y -telje suhtes

Ladina väiketähed

a_{rms}	-	vibratsioonide ruutkeskmise kiirendus
b	-	plaadi või ristlõike laius
b_{ef}	-	efektiivne laius; jääkristlõike laius
$d_{char,0}; d_{char,n}$	-	arvutuslik söestumissügavus ühe- ja kahemõõtmelisel söestumisel
d_{ef}	-	efektiivne söestumissügavus
d_0	-	nulltugevusega kihi paksus
e_i	-	kihi i raskuskeskme kaugus paneeli raskuskeskmest
$f_{c,0,g,d}; f_{c,0,g,k}$	-	liimpuidu survetugevus pikikiudu: arvutuslik; normatiivne
$f_{c,90,g,d}; f_{c,90,g,k}$	-	liimpuidu survetugevus ristikiudu: arvutuslik; normatiivne
f_d	-	arvutuslik tugevus
f_k	-	normatiivne tugevus
$f_{m,g,d}; f_{m,g,k}$	-	liimpuidu paindetugevus: arvutuslik; normatiivne
f_n	-	omavõnkesagedus n -ndas perioodis
$f_{r,g,d}; f_{r,g,k}$	-	liimpuidu rullnihketugevus: arvutuslik; normatiivne
$f_{t,0,g,d}; f_{t,0,g,k}$	-	liimpuidu tõmbetugevus pikikiudu: arvutuslik; normatiivne
$f_{t,90,g,d}; f_{t,90,g,k}$	-	liimpuidu tõmbetugevus ristikiudu: arvutuslik; normatiivne
$f_{v,g,d}; f_{v,g,k}$	-	liimpuidu nihketugevus: arvutuslik; normatiivne
f_0	-	omavõnkesagedus ehk põhisagedus
f_1	-	omavõnkesagedus esimeses perioodis
g_d	-	omakaalukoormuse arvutusväärtus
g_k	-	omakaalukoormuse normväärtus
h	-	elemendi kõrgus
h_{ef}	-	jääkristlõike kõrgus
i	-	inertsiraadius
k	-	dimensioonitu tegur redutseeritud ristlõike pindala leidmisel
k_{cr}	-	nihkekandevõime pragunemistegur
$k_{c,z}$	-	nõtketegur
$k_{c,90}$	-	koormuse konfiguratsiooni arvestav tegur
k_{crit}	-	paindetugevuse vähenemist arvestav kiivetegur
k_{def}	-	roomest ja niiskusest ajas tekkinud deformatsioone arvestav tegur
k_{fi}	-	20-protsentiilile teiseid tegur
k_h	-	tegur, mis arvestab paindel elemendi suuruse mõju tugevusele
k_{mod}	-	koormuse kestuse ja niiskuse mõju arvestav modifikatsioonitegur
$k_{mod,fi}$	-	modifikatsioonitegur tulekahju olukorras
k_{sys}	-	süsteemi tugevust arvestav tegur

k_z	-	abitegur nõtketeguri leidmiseks
k_0	-	nulltugevusega kihi kasvu arvestav tegur
l	-	kontaktpikkus
l_{ef}	-	efektiivne kontaktpikkus; elemendi arvutus pikkus
m	-	põranda ühikpinna mass
n	-	võngete arv
p_d	-	arvutuslik ühtlaselt jaotatud koormus
p_k	-	ühtlaselt jaotatud koormuse normväärtus
q_d	-	muutuvkoormuse arvutusväärtus
q_k	-	muutuvkoormuse normväärtus
s	-	samm (vahekaugus); põrandat toetavate servade arv; katuse lumekoormuse normsuurus
s_k	-	lumekoormuse normsuurus maapinnal
z	-	arvutatava kihi kaugus ristlõike raskuskeskmest
t	-	tulekahju kestus
w_{fin}	-	lõplik läbipaine
$w_{fin,max}$	-	maksimaalne lubatud lõplik läbipaine
$w_{fin,G}; w_{fin,Q}$	-	lõplik läbipaine alaliskoormusest; muutuvkoormusest
w_{inst}	-	hetkeline läbipaine
$w_{inst,max}$	-	maksimaalne lubatud hetkeline läbipaine
$w_{inst,G}; w_{inst,Q}$	-	algdeformatsioon alaliskoormusest; muutuvkoormusest
w_s	-	nihkest tulenev deformatsioon
w_{1kN}	-	läbipaine, mille tekitab 1 kN suurune koormus

Kreeka tähed

α	-	Fourier'i koefitsient
β_c	-	elemendi sirgsust arvestav tegur
β_n	-	tinglik söestumiskiirus ristkülikulise ristlõike jaoks
β_0	-	ühemõõtmeline söestumiskiirus
$\gamma_{G,j}$	-	alaliskoormuse j osavarutegur
γ_M	-	materjali omaduse varutegur
$\gamma_{M,fi}$	-	materjali osavarutegur tules
$\gamma_{Q,1}$	-	domineeriva muutuvkoormuse osavarutegur
$\gamma_{Q,i}$	-	kaasneva muutuvkoormuse osavarutegur
ζ	-	sumbuvustegur
λ	-	elemendi saledus

$\lambda_{rel,z}$	-	suhteline saledus z-telje suhtes
μ	-	lumekoormuse kujutegur
$\sigma(z)$	-	normaalpinged ristlõikes
$\sigma_{c,0,d}$	-	arvutuslik survepinge pikikiudu
$\sigma_{c,90,d}$	-	efektiivse kontaktpinna arvutuslik survepinge ristikiudu
σ_{max}	-	maksimaalne paindepinge
$\tau_{r,d}$	-	nihkepinge ristikiudu
$\tau_{v,d}$	-	nihkepinge pikikiudu
$\psi_{0,i}$	-	kaasneva muutuvkoormuse kombinatsioonitegur
$\psi_{1,1}$	-	domineeriva muutuvkoormuse kombinatsioonitegur
$\psi_{2,i}$	-	kaasneva muutuvkoormuse kombinatsioonitegur

SISSEJUHATUS

Käesolevas magistritöös käsitletava hoone ja seda ümbritseva kinnistu põhimõtteline eskiislahendus töötati välja õppeaine „Disainistuudio III (hoonete kompleksid)“ (NTS1873) raames. Õppeaine lähteülesandeks oli luua terviklik ruumiline visioon Tartu linnas asuvale Kasarmu tn 3 kinnistule, mille lahendamise aluseks võeti Raadi piirkonna visioonivõistluse nõuded. Seejärel lahendati üks kinnistule planeeritud hoone arhitektuurse eskiisina läbi, mis on sobiv alus lõputöö koostamiseks.

Lõputööl on kaks peamist eesmärki. Esimene eesmärk on kirjeldada hoone kandekonstruktsioonide põhimõttelist lahendust ning anda ülevaade ruum-moodulitest ehitamise olulistest aspektidest. Teine eesmärk on koostada hoones asuva kaupluse kohale jääva vahelae konstruktiivne projekt ehk see detailselt lahendada sedasi, et oleksid täidetud kõik sellele esitatud nõuded kande- ja kasutuspiiriseisundis ning tulepüsivuse osas.

Eelnevalt toodud eesmärkidest lähtuvalt pandi paika lõputöö ülesanded:

- kirjeldada hoone arhitektuuri ja kandekonstruktsioone;
- uurida lähemalt ruum-moodulitest ehitamist;
- jagada hoone korterite osa ruum-mooduliteks;
- töötada välja kaupluse vahelae kandeskeem ja kihid;
- leida kaupluse vahelaele mõjuvad koormused;
- teostada vahelae kandvatele elementidele tugevusarvutused;
- kontrollida käsitsi tehtud tugevusarvutusi arvutiprogrammide abil;
- analüüsida kaupluse vahelae tulepüsivust;
- koostada kaupluse vahelae konstruktiivsed joonised.

Hoone maapealsete kandekonstruktsioonide lahendamiseks otsustati kasutada taastuvat loodusvara puitu, mis on mitmete uuringute ja teadustööde põhjal keskkonnasõbralik ja aitab ehituses kasvuhoonegaaside tekkimist vähendada. Ehitusmahud järjest suurenevad rahvaarvu kasvades, kuid looduskeskkond kannatab inimeste loodava tehiskeskkonna ehitamise tõttu. On fakt, et ehitussektori sageli negatiivset mõju tuleb vähendada, otsides selleks loodussõbralikumaid ja säästlikumaid viise, kuidas oma tegevusega keskkonda mitte kahjustada ja säästa loodusressursse ka tulevastele põlvetele. Rohkema puidu kasutamine ehituses betooni ja terase asemel on osaks nende globaalsete probleemide lahendamisel.

Magistritöö põhiosa on jagatud kuueks peatükiks. Esimeses peatükis kirjeldatakse lahendatava hoone arhitektuuri vastavalt alusena kasutatavale eskiisprojektile ning seal pannakse paika hoone kandvad konstruktsioonid. Teises peatükis keskendutakse ruum-moodulitest ehitamisele ning seotakse esitatav teooriaosa lahendatava hoonega. Teooriaosa põhineb suuresti 2021. aasta sügissemestril TalTech Tartu kolledžis toimunud kursuse „Moodulmajade projekteerimine“ (ETC0065) põhjal. Et loengutest kuulnud infot täiendada, loeti juurde teemakohaseid teadustöid ja uuriti tootjate kodulehti. Moodulehituse osa on lõputöösse kaasatud, et anda korterite osa edasisele projekteerimisele alus, kust saaks soovi või vajaduse korral edasi minna.

Kolmandas kuni kuuendas peatükis käsitletakse kaupluse vahelae konstruktiivset projekti. Kolmandas peatükis antakse järgenvateks arvutusteks vajalik kaupluse vahelae kandeskeem ning konstruktsioonikihid. Neljandas peatükis leitakse kaupluse vahelaele mõjuvad koormused koos koormuskombinatsioonide ja sisejõududega kandvate elementide kaupa. Viiendas peatükis sooritatakse käsitsi vahelae tugevusarvutused kande- ja kasutuspiirseisundis ning kuuendas peatükis analüüsitakse eelnevatele tingimustele vastavaid elemente tulepüsivuse kontekstis.

Lõputööl on peale põhiosa ka lisad ja graafiline osa. Lisades on toodud elementide kontrollarvutused arvutiprogrammidega. Graafilises osas on toodud hoone arhitektuuri kirjeldavad joonised koos asendiplaaniga, korterite osa ruum-mooduliteks jagamine ning kaupluse vahelae kandeskeem koos lõike ja sõlmejoonisega.

Töö koostamiseks kasutati mitmeid arvutiprogramme. Kõik joonised nii töö põhiosas kui graafilises osas koostati 3D-mudeli abil, mis tehti programmis Autodesk Revit 2019. Talade ja postide kontrollarvutused kande- ja kasutuspiirseisundis tehti programmiga Autodesk Robot Structural Analysis Professional ning ristkihtliimpuidust paneelide kontrollarvutused tehti programmiga CLT Designer. Töö tekstiosa vormistati programmi Microsoft Word abil.

Märksõnad: puitkonstruktsioonid, tugevusarvutused, ruum-moodulid, magistritöö

1. PROJEKTEERITAVA HOONE KIRJELDUS

1.1. Hoone funktsioonid osade kaupa

Tegemist on Tartu linna Kasarmu tn 3 kinnistule Puiestee ja Kasarmu tänavate nurka planeeritava L-kujulise äri- ja kortermajaga. Hoone Puiestee tänava äärne osa on nelja maapealse korrusega ning sellel on lisaks osaline keldrikorrus. Maa-alusel korrusel asub parkla, mis ulatub ka kahe teise Puiestee tänava äärde planeeritud hoone alla (vt asendiplaani graafilise osa lehel 1). Kasarmu tänava äärne hooneosa on kolmekorruseline ning selle all keldrikorrust ei ole (vt arhitekturseid korruste plaane ja vaateid graafilises osas lehtedel 2–7). Graafilises osas lehtedel 1–7 on kinnistu asendiplaan, hoone korruste arhitektuursed plaanid ja vaated, mille koostamist alustati õppeaine „Disainistuudio III (hoonete kompleksid)” raames ja mis on nüüd veidi parandatud. Nimetatud jooniste koostamine ei ole käesoleva magistritöö põhiülesanne, vaid need on esitatud selleks, et lõputöö lugejal tekiks ettekujutus projekteeritavast hoonest.

Puiestee tänava äärse mahu esimesel korrusel on äripinnad, tehnoruumid ja panipaigad. Äripindadest on planeeritud terrassiga restoran, ilusalong, lemmikloomapood, pisipood ja riidepood. Ülejäänud kolm korrust on korterite päralt, mida on kokku 24. Need on kahe- kuni neljatoalised ja nende suurused jäävad vahemikku 33,2 kuni 99,5 m². Iga korteri juurde kuulub üks panipaik esimesel korrusel ja üks parkimiskoht maa-aluses parklas. Kolmele kõige suuremale korterile on planeeritud kaks parkimiskohta. Sisepääs korteritesse asub hoone sisenurgas, kus on hoovi poole avanev trepikoda koos liftiga. Maa-aluselt korruselt pääseb otse samasse trepikotta treppi või lifti kasutades.

Kasarmu tänava äärse mahu esimesel korrusel on kauplus koos lao-, puhke- ja tualettruumidega. Ülejäänud kahel korrusel asuvad büroopinnad, kus on paika pandud vaid kandvad postid. Nende postide vahele saab ehitada kergvaheseinad, et ruumi vastavalt vajadusele liigendada. Mahu põhjapoolses nurgas asub kontoritesse pääsemiseks mõeldud eraldi trepikoda koos liftiga. Avariolukorras evakueerumiseks saab kasutada ka tavaolukorras korterite sisepääsuks mõeldud trepikoda, mis on kontoritega ühendatud. Parkimiskohad kaupluseküllastajatele ja kontoritöötajatele asuvad hoone läänepoolisel küljel Kasarmu tänava ääres.

1.2. Hoone arhitektuur

Hoone esimest korrust ning Kasarmu tänava äärset mahtu ilmestavad väiksemateks ristkülikuteks jaotatud klaaspinnad. Hoone välimisse nurka jääb üks kõrge 1. korruselt katuseni ulatuv klaassein, mis on selle taha jäävate korterite suurema privaatsuse tagamiseks osaliselt tumehalliks toonitud (vt Joonis 1.1). Teine sarnane klaassein, mis on samamoodi osaliselt toonitud, asub hoone sisenurgas (vt Joonis 1.2), kuid selle taga on korteritesse viiv trepikoda. Korterite osas liigendavad hoone fassaadi prantsuse stiilis rõdud ja lodžad, mille ette paigaldatakse mustaks värvitud piirded. Nii lodžasid kui ka prantsuse stiilis rõdusid on igal korteril vähemalt üks.



Joonis 1.1. 3D vaade hoonele Puiestee ja Kasarmu tänava nurgast

Kogu hoone välisviimistluses on kasutatud tumeroosaid metallist fassaadikassette ning halle kuumõlitatud voodrilaudu. Akende ja klaasuste raamid on väljastpoolt tumehallid. Kõikide sissepääsude kohal on tumedast plekist varikatused. Hoonel on lamekatus, mille katteks on bituumenrullmaterjal.



Joonis 1.2. 3D vaade hoonele hoovi poolt

1.3. Hoone kandekonstruksioonid

Hoone maapealse osa kandvad konstruksioonid tehakse kasutades puitu. Mittekandvad vaheseinad tehakse esimesel korrusel metallkarkassi ja kipsplaatide abil. Esimese korruse põrandad ja kogu maa-aluse korruse kandekonstruksioonid tehakse raudbetoonist, et konstruksioon oleks pinnasest eralduva niiskuse suhtes vähem tundlik. Kogu esimese korruse postid ja talad tehakse liimpuidust ning vahelaed ristkihtliimpuidust paneelidest. Käesolevas töös lahendatakse detailselt läbi kaupluse vahelaed osa. Selle käigus arvutatakse kolme erinevat elementi: CLT paneeli, liimpuidust tala ning liimpuidust posti. Kõik vahelaega seonduv on toodud peatükkides 3–6.

Kaupluse peale jääva kontorite osa kandekonstruksioon (talad, postid ja paneelid) tehakse samasugused nagu kaupluse osas: talade ja postide tegemiseks kasutatakse liimpuitu ning paneelide tegemiseks CLT-d (ristkihtliimpuitu). Kontorite osa kandelemente eraldi ei dimensioneerita, kuid tagavara kasuks saab need teha samade ristlõigetega nagu kaupluse osas.

Korterite osa ja kontor, mis jääb 2. ja 3. korrusel korteritesse viiva trepikoja kõrvale, lahendatakse puitkarkassil ruum-moodulitega. Selline lahendus valiti seetõttu, et korterite osas esineb läbi kolme korruse korduvaid elemente, mida saab tehases mugavalt toota. Tehases ruumelementide tootmise eeliseks on ka see, et üks lõik ehitusprotsessist on välistingimuste eest kaitstud ja seega on ilmastiku mõju ehitusele vähendatud. Moodulehitus aitab kokku hoida aega, mis ehitusplatsil kulub. Käesolevas töös kirjeldatakse moodulitest ehitamise eripärasid ja aspekte, mida tuleb tähele panna, ning töötatakse välja korterite osa moodulite jaotus. See osa on kirjeldatud peatükis 2.

1.4. Hoone tehnilised andmed

Tabel 1.1. Hoone tehnilised andmed

Ehitisealune pind	1454,1 m ²
Maapealsete korruste arv	4
Maa-aluste korruste arv	1
Parkimiskohtade arv	27
Korterite arv	24
Korterite pindala	1827,2 m ²
Äripindade arv	6
Äripindade pindala	1021,7 m ²
millest kaupluse pindala	348,1 m ²
Büroopindade pindala	1052,3 m ²

2. KORTERITE SEKTSIOONI PÕHIMÕTTELINE LAHENDUS RUUM-MOODULITEGA

2.1. Mooduliteks jagamise põhimõtted

2.1.1. Tootmisest tulenevad põhimõtted

Hoone korterite osa kavandatakse ehitada puitkarkassil ruum-moodulitest. Korterritesse viiv trepikoda tehakse parema jäikuse saavutamiseks CLT elementidest. Moodulite kiireks valmimiseks oleks hea, kui korduvaid mooduleid oleks võimalikult palju. Kuna antud arhitektuurset lahendust ei koostatud algselt ruumelemente silmas pidades, on korduvuse põhimõtte täitmine veidi raskendatud. Siiski on plaanilahendus läbi kolme moodulitest ehitatava korruse suhteliselt korduv: hoone teine ja kolmas korrus on täpselt samasuguse plaanilahendusega ja neljandal korrusel on kaheksast korterist viis samasugused nagu teise ja kolmanda korruse korterid. Kuna neljas korrus on hoone viimane korrus, tuleb seal arvestada katusele omaste kihtide ja ehitusviisidega.

Et ehitusaeg heitlikes välitingimustes oleks võimalikult lühike, tehakse tehase kontrollitud tingimustes nii palju valmis, kui on võimalik ja antud olukorras mõistlik. Tehases paigaldatakse moodulitesse kõik aknad ja ukсед, aga hoone välimisse nurka jääva korteri klaaspind paigaldatakse tema massi tõttu ehitusplatsil. Lodžad tehakse otse moodulite külge, kuid et olla kindel, et lodžade piirded ei saa transpordi käigus kahjustada, paigaldatakse need hoone külge ehitusplatsil. Fassaadikattematerjalid kinnitatakse juba tehases seinte külge, sest terasest fassaadikassettide ja puidust välisvoodrilaudade näol on tegemist suhteliselt kergete materjalidega, mis moodulile liigset kaalu ei lisa. Lõplik välisviimistlus tehakse ehitusplatsil, kus viimistletakse üksteisega kokku puutuvate moodulite liidete tegemise järel vahekohtade juurde jäävad alad, mis ei tohiks lõpuks fassaadil näha jääda.

Kuna ruum-moodulid ehitatakse kinnistena, tehakse siseviimistlus valmis tehases. See hõlmab muuhulgas krohvimist, värvimist ning keraamiliste plaatide, põrandakatete ja liistude paigaldamist. Lisaks paigaldatakse kogu köögi- ja vannitoamööbel ning sanitaartechnilised seadmed.

Moodulite maksimaalsed mõõtmed sõltuvad tehase võimekusest, mis antud töös võetakse Kodumaja AS tehase järgi. [1] Korterrite osa jagatakse ruumelementideks järgnevate maksimaalsete transpordi gabariitide järgi (vt graafilise osa lehed 8–10):

laius kuni 5,3 m, pikkus kuni 14,5 m ja kõrgus kuni 4,5 m. Korruste tasapindade vahe on arhitektuurse lõike järgi 3 m, kuid moodulite täpset kõrgust, mis sõltub vahelae või katuse kihtidest ja nende paksustest, käesolevas töös ei käsitleta, aga see jääb igal juhul väiksemaks kui 4,5 m.

2.1.2. Transpordist ja paigaldamisest tulenevad põhimõtted

Ruumelemendid viiakse tehasesst ehitusplatsile veoautode ja treilerite abil, mille teekond tuleb hoolikalt läbi mõelda. Teekonna planeerimisel tuleb vedu kooskõlastada vastavate institutsioonide ja asutustega, jälgida kehtivat liikluskorraldust ning veenduda, kas planeeritud marsruudil üldse tohib ja saab antud mõõtmetega koormat vedada. Tuleb tähele panna, kas moodul koos treileri ja veoautoga mahub teele jäävate sildade alt läbi, tänavatel sõitma ja kurvides pöörama. Kuna pikemate ja laiemate moodulite puhul on tegemist suurveostega, on seadusandluse järgi vajalik saateauto ning koorem tuleb nõuetekohaselt tähistada [2].

Et kõigi moodulite teekond tehasesst nende lõplikku asukohta hoone koosseisus oleks ohutu ja edukas, tuleb eraldi vaadata iga mooduli püsimist transpordi, tõstmise ja montaaži käigus. Kui moodulil on pikad silded või vähe seinu, võib olla vajalik kasutada ajutiste koormuste vastu võtmiseks lisatugesid (nt lisapostid või diagonaalsidemed), mis mooduli paigaldamise järel eemaldatakse. Lisaks tuleb mõelda, kuidas moodul veoauto haagise peale paigutatakse, et konsoolselt üle treileri serva jäävad mooduli osad liigselt ei deformeeruks (vt Joonis 2.1). [3]



Joonis 2.1. Mooduli võimalik asetus transpordi käigus [3]

Moodulite projekteerimisel tuleb kindlaks määrata, kuidas mooduleid tõstetakse. Selleks on põhiliselt kaks varianti: alt või ülevalt. [3] Alt tõstmise korral pannakse tropp mooduli alt läbi. Sel juhul võivad mooduli välisseinad kergemini kahjustada saada. Ülevalt tõstmise korral kasutatakse traaverseid, mis aitavad koormusel paremini jaguneda. Mooduli ülemisse serva kandvate postide kohale projekteeritakse tõsteaasad, millest tropid läbi pannakse. Nii ülevalt kui alt tõstmise korral tuleb projekteerimise faasis läbi mõelda, kui tihedalt tuleb tõsteaasasid või troppe paigaldada. Mida tihedamalt on need paigutatud, seda vähem moodul tõstmisel deformeerub. Käesolevas töös tehakse valik ülevalt tõstmise kasuks, sest sedasi on suurem tõenäosus, et tõstmisel ei saa mooduli küljed kahjustada.

Moodulite kaal jääb Kodumaja AS tehase puhul tavaliselt vahemikku 8 kuni 16 tonni [1]. Arvestades raskeima mooduli kaalu koos varuteguriga, tuleb valida ehitusplatsile piisava tõstevõime ja nooleulatusega kraana, et mooduli tõstmine oleks piisavalt stabiilne ja see jõuaks kontrollitult oma lõppasukohta. Käesolevas töös moodulite kaalusid välja ei arvutata, kuid kui seda teha, ei ole välistatud, et töös koostatud moodulite jaotus võib veidi muutuda.

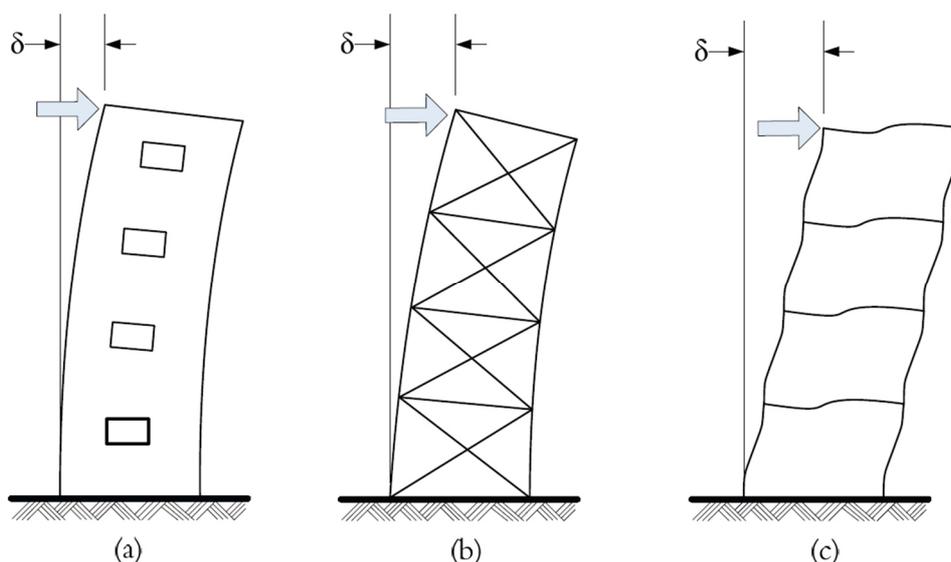
2.1.3. Tehnosüsteemide asukohad

Moodulmajade puhul on oluline, et enne moodulite jaotuse tegemist oleks teada, kuhu on plaanis jätta ruumi erinevate tehnosüsteemide (ventilatsiooni-, kütte- ja veesüsteemi) osade jaoks [3]. Seetõttu paigutatakse käesolevas töös moodulite jaotamise eel igasse vannituppa šahtid tehnosüsteemide jaoks, kuid ei paigutata korteritesse elektrikilpe ning vee- ja küttekappe. Šahtide juurde jäetakse piisavalt vaba ruumi, et oleks võimalik neile ligi pääseda ja seal vajalikke töid teha. Šahti laiuseks jäetakse vähemalt 30 cm, et sinna mahuksid ära ka suurema läbimõõduga kanalisatsioonitorud. Hoone vee- ja küttesüsteemis kasutatakse toru-torusüsteemi, et sisemise toru lekkimise korral ei pääseks vesi kohe konstruktsiooni vahele. Kui leke peaks ka välimisest torust läbi jõudma, tuleb kindlustada, et vesi ei jää kuhugi seisma, vaid see juhatakse näiteks märja ruumi põranda kaudu kanalisatsioonisüsteemi.

Moodulite jaotamisel oleks tehnosüsteemide seisukohalt kõige parem, kui ühe korteri märjad ruumid ja köök oleksid koondatud ühte moodulisse. Sel juhul tuleb platsil teha vähem tehnosüsteemide liiteid moodulite vahel. See aitab ehitusplatsil aega kokku hoida ja saavutatakse õhutihedam hoone. Käesolevas töös, kui kortereid mooduliteks jagatakse, järgitakse seda põhimõtet nii palju kui antud arhitektuurse lahenduse korral võimalik on.

2.2. Jäikuse tagamine

Puitkarkasshoonetele mõjuvate tuule- ja maavärinakoormuste vastu võtmiseks ehk horisontaalse jäikuse tagamiseks on kasutusel kolm peamist võtet [4]: momendijäigad sõlmed, diagonaalsidemed ja seina diafragmad (vt Joonis 2.2). Projekteerimisel tuleb arvestada, et puidu olemuse tõttu ei saa teha absoluutselt momendijäikasad sõlmi. Puidust või terasest tehtavad diagonaalsidemed võivad jääda olenevalt hoone suuruselt ja funktsioonist konstruktsioonis peidetuks või nähtavale. Seina diafragma koosneb nihkejõudusid ülekandvatest serveribidest ja plaatmaterjalist (tavaliselt kipsplaat, vineer või OSB plaat), mis kinnitatakse puitkarkassi külge naelte või kruvidega. Kaht viimast meetodit kasutatakse kõige enam suhteliselt madalates eluhoonetes, sest see tagab hoone stabiilsuse kõige efektiivsemalt ilma lisamaterjale kasutamata.



Joonis 2.2. Kolm viisi hoone jäikuse tagamiseks (δ – horisontaalne paigutis): (a) seinadiafragmade abil; (b) diagonaalsidemete abil; (c) momendijäikade sõlmede abil. [4]

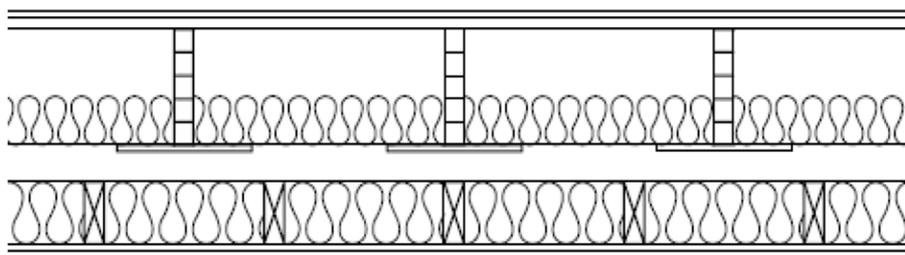
Jäikus ja stabiilsus tuleb tagada nii hoonel tervikuna kui igal moodulil eraldi nii horisontaalsetes kui vertikaalsetes konstruktsiooniosades. Käesolevas töös tagatakse hoone kui terviku jäikus katuse ja kandvate seinte jäigastamisega. Katuse jäigastatakse diagonaalroovide abil ning seinad OSB-3 plaatide abil. Jäikusseinte paigutamisel lähtutakse hoone arhitektuursest lahendusest. Samas tuleb silmas pidada, et jäikusseinad tuleks paigutada ekstsentrilisusest tekkiva väände vältimiseks võimalikult sümmeetriliselt nii, et koormuse raskuskese ja seinte jäikuskese langeks kokku [5]. OSB-3 plaadid kinnitatakse karkassi külge naeltega, mille samm sõltub mõjuvast nihkejõust. Jäikusseinad tuleb projekteerida nii, et määravaks saab liidete purunemine, mitte jäigastuselemendi ehk plaadi enda tugevus.

Iga mooduli tugevus ja jäikus tuleb tagada selliselt, et üheski ehituse faasis (nii tootmisel, transpordil, montaažil kui kasutusel) moodulile mõjuvad koormused seda liialt ei deformeeriks ega põhjustaks purunemist. Üldiselt tagatakse iga mooduli jäikus OSB-3 plaatidega moodulitevahelises vertikaalvuugis ja moodulite lagede ühendustes. Käesolevas lõputöös ühtegi arvutust moodulite jäigastamise osas ei tehta.

2.3. Ehitusfüüsika põhimõtted

2.3.1. Helipidavus

Kortermajade puhul on oluline, et segavad helid õhu- ja konstruktsioonimüra näol ei liiguks ühiskasutatavatest ruumidest korteritesse ega ühest korterist teise, ei horisontaalselt ega vertikaalselt. Helide liikumise takistamiseks on mitmeid võimalusi: suurendada massi, jätta õhkvaheid ja kasutada helipidavaid materjale [6]. Oma olemuselt kergete moodulmajade massi ei ole mõistlik suurendada, kuna moodulid tuleb transportida ehitusplatsile ja seal tõsta. Aga moodulite ühenduskohtadesse tekivad topeltseinad ja -vahelaed, mida saab parema helipidavuse saavutamiseks ära kasutada. Nii seinte kui vahelagede konstruktsioonis tuleb heliisolatsiooniks kasutada mineraalvilla ja jätta moodulite vahele piisav õhkvahe (vt Joonis 2.3). Kahe üksteise peale asetatava mooduli vahele nähakse ette mürapidavustihend, mille tihedus on suurem alumistel korrustel [7]. Moodulitevaheliste seinte liidete projekteerimisel saab kasutada elastset hermeetikut ja akustilist tihendit, et helide edasikandumine moodulite vahel oleks minimaalne.



Joonis 2.3. Õhkvahe ühe mooduli lae ja teise mooduli põranda vahel [7]

Teise aspektina tuleb jälgida, et väliskeskkonnas tekkiv müra ei segaks inimeste igapäevaseid tegevusi hoone sees. Hoone üks külg, kus asuvad korterid, jääb Puiestee tänava äärde, mis on Tartu linna üks mürarohkemaid tänavaid [8]. Et tänavamüra pääsemist korteritesse takistada, kasutatakse hea mürapidavusega avatäiteid, mis tuleb korrektselt vastavalt tootja juhiste paigaldada.

2.3.2. Soojapidavus

Sarnaselt tavaehitusele tuleb ka moodulmajade ehitamisel täita hoone energiatõhususe miinimumnõuded. Oluline aspekt nende nõuete saavutamisel on hoone soojapidavus. Moodulmajade puhul on soojapidavuse saavutamisel erisuseks see, et hoonesse tekib rohkem joonkülmasildu kui tavapärase ehituse puhul. Joonkülmasildade tekkepõhjus seisneb selles, et tahes-tahtmata tekib kõigi moodulite vahele topeltkarkass ja rohkem liitekohti, mille kaudu soojuskadu suureneb. Selle probleemi lahenduseks on korrektne liitekohtade projekteerimine ja hoolikas projektijärgne moodulite paigaldamine.

2.3.3. Õhutihedus

Hoonete õhupidavuse tagamine õigesti projekteerimisel ja ehitamisel aitab kogu hoonel energiasäästlikumalt ja niiskustehniliselt paremini toimida. Kui õhk ei saa vabalt sise- ja väliskeskkonna vahel liikuda, on hoone soojakadu õhulekete kaudu väiksem. Seega on korrektse õhupidavuse tagamine abiks liginullenergia nõuete täitmisel. Õhupidavuse projekteerimisel nähakse ette üks katkematu õhutihe kiht kogu hoone välisperimeetri sisepinnal. Peamised kohad, kus õhuleke toimub ja mida tuleb eriliselt tähele panna, on vahelae ja välisseina liitekoht, sise- ja välisseina liitekoht, tehnosüsteemide osade läbiviigud õhutihedast kihist ning välisseina avatäidete ümbrus. [9]

Moodulmajade korral tehakse küll iga moodul eraldi, kuid hoone kui terviku õhupidavus tuleb siiski tagada. Selleks tuleb moodulite ühendussõlmedes moodulite õhutihedad kihid üksteisele võimalikult lähedale viia ning vajadusel kasutada õhutihedaid tihendeid. Kui vaja, tuleb jätta võimalus paigalduse järel moodul väljastpoolt veidi avada, et moodulitevaheline liide saaks korrektselt õhupidavaks tehtud. Tootmisel ja hiljem paigaldamisel on oluline jälgida kõikide tehnosüsteemide osade ümbrusi, mis katkestavad õhupidavat kihti. Need tuleb korralikult õhupidavaks teipida.

Käesolevas töös kasutatakse õhupidavaks kihiks aurutõkkekilet. Et seintesse paigaldatav elektrijuhtmestik ja pistikud kilesse auke ei teeks, tehakse põhikarkassist sissepoole aurutõkkekile peale üks lisakarkass, millesse saab kõik juhtmed ja pistikupesad ilma kilet kahjustamata paigaldada. Kile asukoht seinakonstruktsioonis võetakse Isoveri antud soovitusel järgi [10], mis on seestpoolt vaadates maksimaalselt 1/3 kaugusel soojustuse sees, et kile saaks ehitusfüüsikaliselt toimida ja ei tekiks probleeme niiskuse kogunemisega.

2.3.4. Veepidavus

Moodulmajade konstruktsioone tuleb kaitsta vee kahjulike mõjude eest nii seest- kui väljastpoolt igas ehituse etapis. Kõigepealt tuleb valida moodulite ehitamiseks nõuetekohase niiskusesisaldusega materjalid, et ei tekiks probleeme siis, kui vesi hakkab tarindist välja auruma. Et vesi ei pääseks konstruktsiooni seestpoolt kahjustama, kaitstakse tarindid märgades ruumides (WC-des, vannitubades, saunades) seestpoolt hüdroisolatsiooniga. See hoiab märjas ruumis kasutatava vee ruumis sees, et see ei jõuaks konstruktsioonini. Märgades ruumides tuleb lisaks pindade hüdroisoleerimisele veetihedaks teha ka torustike läbiviikude ümbrused.

Lisaks välispiirete veetihedusele tuleb moodulmajade puhul mõelda veetihedusele ka transpordi ja paigalduse käigus. Ükski hoone koosseisu kuuluvatest moodulitest ei ole igast küljest väljastpoolt veekindlaks ja välistingimustele vastupidavaks ehitatud, aga ka transpordi ja paigalduse ajal ei tohi moodul saada veekahjustusi. See tähendab, et mooduleid tuleb ilmastiku eest kaitsta. Selleks kasutatakse erinevaid katteid, näiteks kilesid (vt Joonis 2.4), mille eemaldamise aeg sõltub ehituse edenemisest. Et muuta ehitusplats ilmastikust vähem sõltuvaks, oleks hea katta kogu ehitatav hoone veekindla telgiga. Tegemist on kalli võttega, kuid vähendab suuresti ilmastiku mõju ehitusprotsessile.

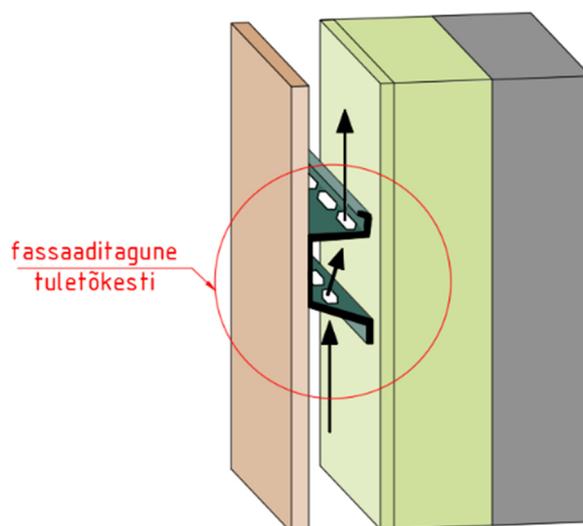


Joonis 2.4. Kiletatud ruum-moodul Kodumaja AS laoplatsil [11]

2.4. Tuleohutus

Puitkarkassil moodulmajade konstruktsioonid tehakse puidust, mis on põlev materjal. Sellest faktist hoolimata saab ehitada puidust õigete võtete kasutamisel piisavalt tuleohutuid hooneid. Puidu tulekaitse suurendamiseks on kolm viisi [12]: kandeelementide ristlõigete suurendamine, kattekihtide lisamine ning tulekaitsevärvide või -lakkide kasutamine. Moodulmajade puhul on tavaliselt tegemist puidust kandeelementidega, mis asuvad kaitsvate kips- või puidupõhiste plaatide taga ja on isoleeritud kuumakindla mineraalvillaga.

Tule levik fassaadil ja korruste vahel tuleb tõkestada. Selleks on võimalik kasutada väikse tuletundlikkusega materjale või fassaad sektsioneerida. Antud töös on kasutatakse kaht erinevat fassaadikatematerjali: metallist fassaadikasette ja kuumõlitatud männist voodrilaudu. Metallil näol on tegemist mittetuletundliku materjaliga, aga voodrilaudade puhul mitte [12]. Arhitektuurne fassaadilahendus juba sektsioneerib materjalide vaheldumise kaudu fassaadi horisontaalsuunas, kuid puiduga kaetud fassaadi osad tuleb ka vertikaalsuunas sektsioneerida. Selleks on tuuldavate fassaadide jaoks kasutusel mitmed lahendused [13]. Käesolevas töös soovitakse, et tuletõkestid ei jääks fassaadil näha. Seega kasutatakse fassaaditaguseid profileeritud metallist tuletõkesteid (vt Joonis 2.5).

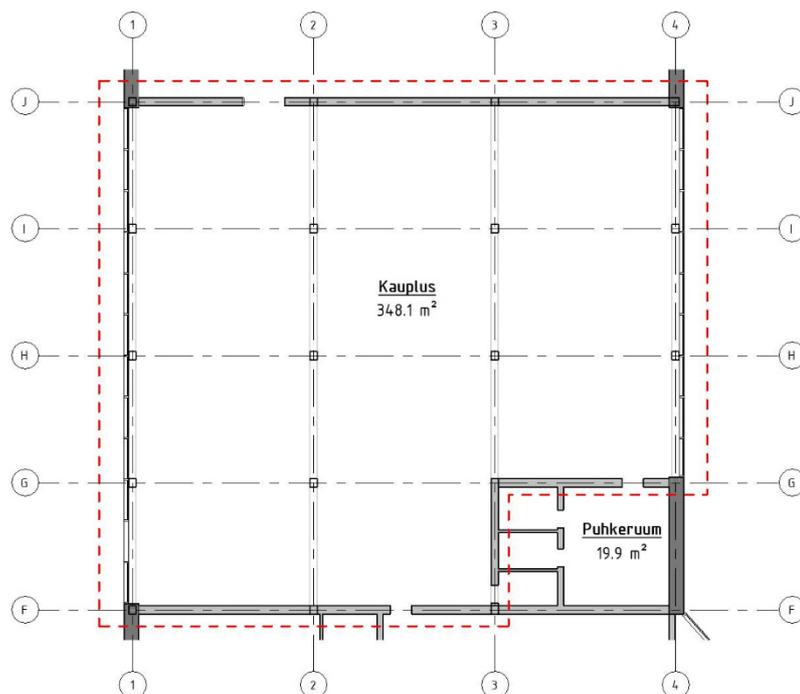


Joonis 2.5. Fassaaditagune profileeritud metallist tuletõkesti [13]

3. KAUPLUSE VAHELAE KANDESKEEM JA KIHID

3.1. Kandeskeem

Lõputöö raames lahendatakse läbi kaupluse vahelagi, seejuures ei projekteerita abiruumide ega kaupluse laoruumi vahelagesid. Plaaniliselt on lahendatav osa näha Joonisel 3.1 punase kriipsjoonega tähistatud ala sees.



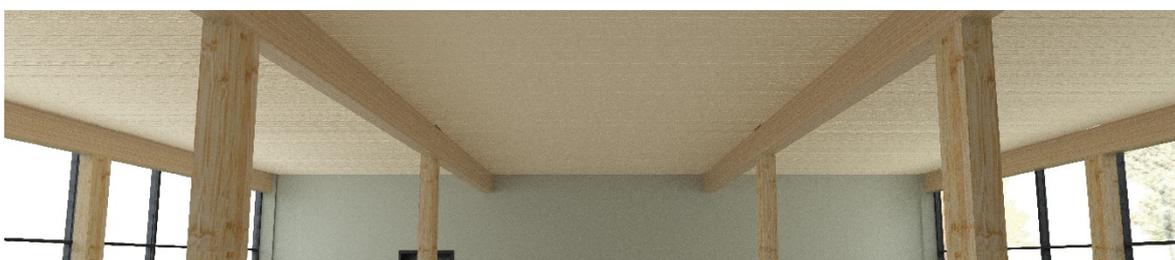
Joonis 3.1. Projekteeritav osa

Kaupluse vahelae kandekonstruktsioon koosneb ristkihtliimpuidust (CLT) paneelidest, lamell-liimpuidust taladest ja postidest. Kaupluse poolt vaadates on tegemist katmata puitkonstruktsiooniga (vt Joonis 3.2). Karkassi joonis on toodud graafilises osas lehel 12 ja CLT paneelide laotis lehel 11. Paneeli, tala ja posti ühendussõlm on toodud graafilises osas lehel 13. Vahelae mittekandvad kihid toetuvad CLT paneelidele, mis töötavad lihttala skeemi kohaselt. Säästlikum oleks paneelid panna tööle jätkuvana, mis vähendaks märgatavalt tekkivaid läbipaindeid. Sel juhul tuleks sillata korraka kolm kuue meetri pikkust sillet, mis teeks paneeli pikkuseks 18 m. Tehastes nii pikki paneele ei valmistata [14], seega tuleb valida ühe 18 m pikkuse paneeli asemel kolm 6 m pikkust paneeli. Paneeli arvutuskeem koos normkoormustega on toodud järgmises peatükis Joonisel 4.1.

CLT paneelidelt kanduvad koormused edasi taladele, mis töötavad üle postide jätkuvalt. Kolm tala on neljasildelised ja üks tala kolmesildeline jätkuvtala, millest arvutatakse läbi

vaid suuremate sisejõududega ehk pikem tala. Kõikide talade silded on 4,25 m, mis teeb pikema tala kogupikkuseks 17 m ning lühema tala kogupikkuseks 12,75 m. Talasid toetavad keskelt postid ning otstest seinte sees asuvad postid. Neljasildelise jätkuvtala arvutuskeem koos normkoormustega on toodud järgmises peatükis Joonisel 4.2.

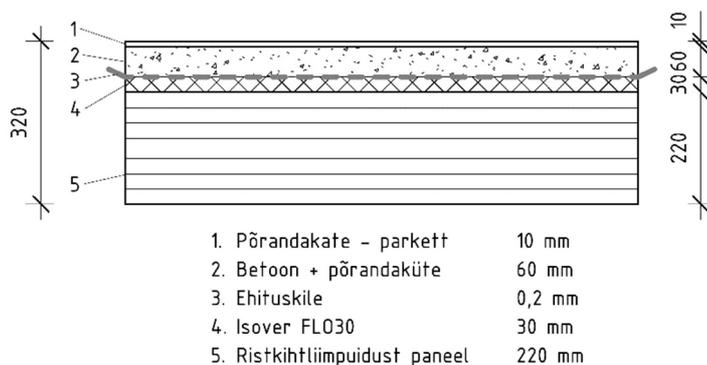
Talasid toetavaid liimpuidust poste projekteeritakse kokku 19 tk, millest 14 tk jäävad seinte sisse. Postid kinnitatakse mõlemast otsast liigendiga. Käesolevas töös arvutatakse läbi kaupluse keskele jääv enimkoormatud post, mille arvutuskeem koos normkoormustega on toodud järgmises peatükis Joonisel 4.3. Hoone välisseinas asuvat posti eraldi ei dimensioneerita.



Joonis 3.2. Vaade kaupluse vahelae konstruktsioonile

3.2. Vahelae konstruktsioon

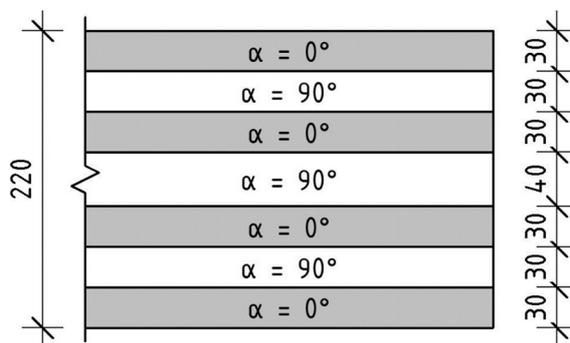
Kaupluse vahelae (vt Joonis 3.3) kõige pealmine kiht on põrandakate, milleks valiti 10 mm paksune parkett koos alusmatiga. Põrandakatte kihi all asub 60 mm paksune betoonikiht, millesse paigaldatakse ka põrandaküttetorustik. Et monoliitbetooni valamise järel betoonipiim alumiste kihtide vahele ei valguks, paigaldatakse enne betooni valamist betooni alla kile. Selle all paikneb müraisolatsiooni funktsiooni täitev ja soojuskiirguse liikumist piirav 30 mm paksune jäiga mineraalvilla Isover FLO30 kiht. Nende mittekandvate kihtide all asuvad vahelage kandvad kihid.



Joonis 3.3. Vahelae kihid

Vahelage kannavad 7-kihilised ristkihtliimpuidust paneelid, mille pikkus on 6000 mm ja paksus 220 mm. Kahel pikemal liinil on 5 paneeli laiusega 3400 mm ja lühemal liinil 3 paneeli laiusega 3400 mm ning 1 paneel laiusega 2550 mm (vt graafilise osa leht 12). Hoolimata paneelide tegelikust laiusest, teostatakse kõik paneeli arvutused 1 m laiuse plaadiriba kohta.

7-kihilise ristkihtliimpuidust paneeli lamellide paksused ja nende paiknemine ristlõikes on toodud Joonisel 3.4. Lamellid valmistatakse puidust tugevusklassiga GL24h, mille normtugevus- ja normjäikusomadused on toodud Tabelis 3.1.



Joonis 3.4. Lamellide paksused ja suunad CLT paneelis

Paneelid toetuvad liimpuidust taladele, mille ristlõige on 240 x 520 mm. Talad toetuvad postidele, mille ristlõige on 280 x 240 mm. Nii talad kui postid tehakse homogeensetest lamell-liimpuidust tugevusklassiga GL28h, mille normtugevus- ja normjäikusomadused on toodud Tabelis 3.1.

Tabel 3.1. Homogeense lamell-liimpuidu normtugevus- ja normjäikusomadused, N/mm² [15]

Omadus	Tähis	GL24h	GL28h
Paindetugevus	$f_{m,g,k}$	24	28
Tõmbetugevus	$f_{t,0,g,k}$	19,2	22,3
	$f_{t,90,g,k}$	0,5	0,5
Survetugevus	$f_{c,0,g,k}$	24	28
	$f_{c,90,g,k}$	2,5	2,5
Nihketugevus (nihe ja vääne)	$f_{v,g,k}$	3,5	3,5
Külgnihketugevus	$f_{r,g,k}$	1,2	1,2
Elastsusmoodul	$E_{0,g,mean}$	11 500	12 600
	$E_{0,g,05}$	9 600	10 500
	$E_{90,g,mean}$	300	300
	$E_{90,g,05}$	250	250
Nihkemoodul	$G_{g,mean}$	650	650
	$G_{g,05}$	540	540
Külgnihkemoodul	$G_{r,g,mean}$	65	65
	$G_{r,g,05}$	54	54

4. KAUPLUSE VAHELAELE MÕJUVAD KOORMUSED

4.1. Metoodika

Koormuskombinatsioonid koostatakse vastavalt kehtivale Eurokoodeksile [16]. Iga elemendi arvutamiseks valitakse välja kolm kombinatsiooni erinevate olukordade arvutamiseks: üks kandepiirseisundi jaoks, üks kasutuspiirseisundi jaoks ning üks erakordse olukorra ehk tulepüsivuse jaoks.

Kandepiirseisundi kombinatsiooni üldkuju on toodud valemis (4.1).

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} \cdot \gamma_{G,j} + G_{k,1} \cdot \gamma_{Q,1} + \sum_{i > 1} G_{k,i} \cdot \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i}, \quad (4.1)$$

kus $G_{k,j}$ – alaliskoormuse j normväärtus, kN/m^2 ,

$\gamma_{G,j}$ – alaliskoormuse j osavarutegur,

$Q_{k,1}$ – domineeriva muutuvkoormuse normväärtus, kN/m^2 ,

$\gamma_{Q,1}$ – domineeriva muutuvkoormuse osavarutegur,

$Q_{k,i}$ – kaasneva muutuvkoormuse normväärtus, kN/m^2 ,

$\gamma_{Q,i}$ – kaasneva muutuvkoormuse osavarutegur,

$\psi_{0,i}$ – kaasneva muutuvkoormuse kombinatsioonitegur.

Kasutuspiirseisundis koostatakse vaid normkombinatsioon eeldusel, et tekkiv piirseisund on taastumatu. Kombinatsiooni üldkuju on toodud valemis (4.2). [16]

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{0,i} Q_{k,i} \quad (4.2)$$

Tulepüsivuse arvutuste jaoks koostatakse erakordse olukorra kombinatsioon. Selle üldkuju on toodud valemis (4.3). [16]

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + A_d + \psi_{1,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} Q_{k,i}, \quad (4.3)$$

kus A_d – erakorraline koormus, kN/m^2 ,

$\psi_{1,1}$ – domineeriva muutuvkoormuse kombinatsioonitegur,

$\psi_{2,i}$ – kaasneva muutuvkoormuse kombinatsioonitegur.

4.2. Ristkihtliimpuidust paneel

4.2.1. Koormused

Vahelaepaneelidele mõjub alaliskoormusena vahelae kihtide ja kandvate elementide omakaalukoormus g_k , mille arvutus on toodud Tabelis 4.1. Koormused määratakse materjalikihtide mõõtmete ja mahukaalu järgi. Ristkihtliimpuidust paneeli mahukaal on leitud standardis EVS-EN 1991-1-1:2002+NA:2002 tabelis A.3 [15] toodud tiheduse keskväärtuse järgi. Muude materjalide mahukaalud pärinevad vastavate materjalide tootjate andmetest. Viimasena lisatakse omakaaluarvutusse lae külge kinnitatavate valgustite, ventilatsioonisüsteemi osade ja muude riputatavate esemete koormus, mille väärtus võetakse kogemuslikult $0,1 \text{ kN/m}^2$.

Tabel 4.1. Kaupluse vahelae konstruktsiooni omakaalukoormus

Kihi nr	Materjal	Paksus [m]	Mahukaal [kN/m^3]	Kihi kaal [kN/m^2]
1	Põrandakate – parkett	0,010	12	0,120
2	Betoon + põrandaküte	0,060	26	1,560
3	Ehituskile	-	-	-
4	Isover FLO30	0,030	0,85	0,026
5	Ristkihtliimpuit (GL24h)	0,220	4,12	0,906
6	Riputuskoormus	-	-	0,1
KOKKU g_k:				2,71

Vahelaele mõjub kasuskoormusena teisel korrusel asuva kontoripinna koormus. Kehtiva Eurokoodeksi EVS-EN 1991 tabeli 6.1 [17] järgi on tegemist kasutusklassiga B (ametipinnad). Sama standardi rahvusliku lisa tabel NA.6.2 annab klass B vahelae kasuskoormuseks $q_k = 3,0 \text{ kN/m}^2$. Kombinatsioonitegurid on klassi B puhul järgnevad: $\psi_0 = 0,7$, $\psi_1 = 0,5$ ja $\psi_2 = 0,3$. Muid muutuvkoormusi kaupluse vahelaele ei mõju.

4.2.2. Koormuskombinatsioonid

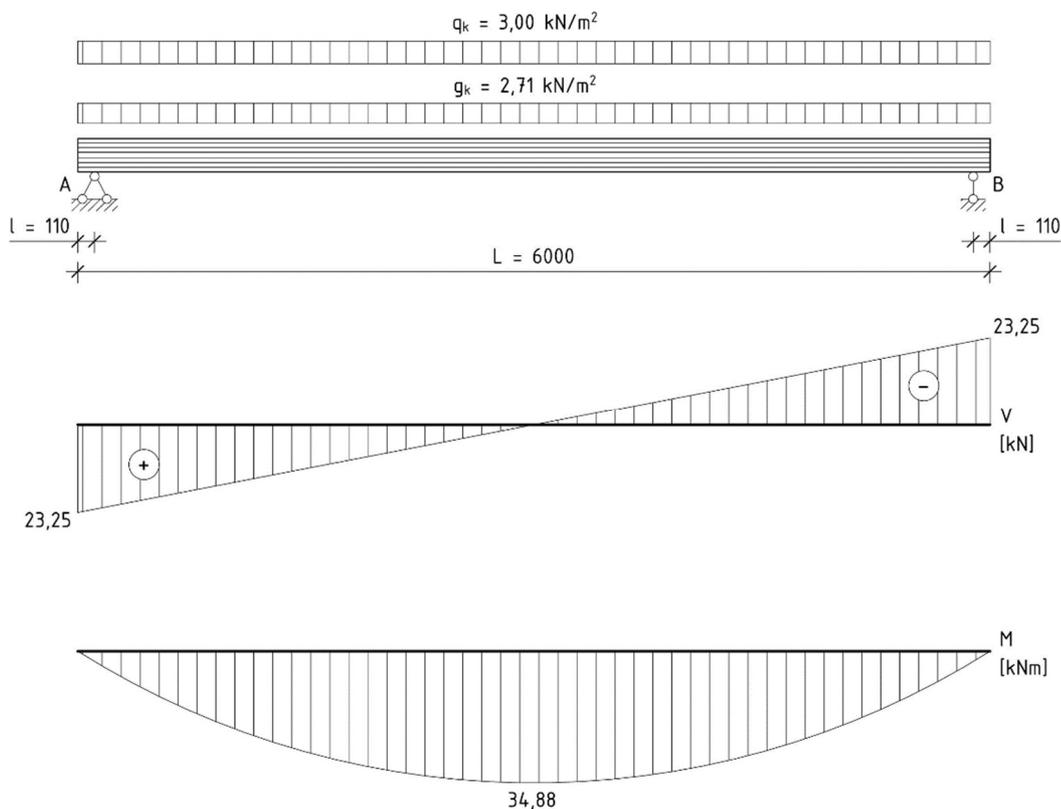
Koormuskombinatsioonid koostatakse vastavalt peatükis 4.1 toodud valemite üldkujudele ja koondatakse Tabelisse 4.2. Kandepiiriseisundi arvutamiseks saab koostada kaks kombinatsiooni, kuna lisaks alaliskoormusele omakaalust mõjub üks muutuvkoormus (kasuskoormus). Esimeses kombinatsioonis võetakse arvesse vaid omakaalukoormust koos varuteguriga. Selline olukord tekib siis, kui hoone on valmis, kuid ei ole veel kasutuses. Teises kombinatsioonis lisandub omakaalukoormusele domineeriva muutuvkoormusena kasuskoormus.

Tabel 4.2. CLT paneelidele mõjuvate koormuste kombinatsioonid

Jrk nr	Piir seisund	g_k [kN/m ²]	γ_G	g_d [kN/m ²]	q_k [kN/m ²]	γ_Q	ψ	q_d [kN/m ²]	p_d [kN/m ²]
1	Kande-	2,71	1,2	3,25	-	-	-	-	3,25
2	Kande-	2,71	1,2	3,25	3,0	1,5	-	4,5	7,75
3	Kasutus-	2,71	1,0	2,71	3,0	1,0	-	3,0	5,71
4	Tulekahju	2,71	1,0	2,71	3,0	1,0	0,5	1,5	4,21

Kandepiir seisundis arvutamiseks tuleb välja valida üks kombinatsioon. Kogemuslikult võib väita, et kombinatsioon nr 1 saab määravaks siis, kui omakaal on suhteliselt suur, mis antud olukorras ei ole tõene. Kombinatsiooni nr 1 korral tuleb koormus väiksem kui kombinatsiooni nr 2 korral, mis teeb koormuste suhteks $3,25/7,75 = 0,419$. Esimese kombinatsiooni puhul rakendatakse tegurile k_{mod} väärtust 0,60 ja teise kombinatsiooni puhul väärtust 0,80 (vt peatükk 5.1), mis teeb arvutuslike tugevuste suhteks $0,6/0,8 = 0,75$. Selgub, et koormuste suhe on väiksem arvutuslike tugevuste suhtest. See kinnitab kogemuslikku väidet, et esimene olukord saab määravaks vaid suure omakaalu osakaalu tõttu.

Seega on paneelide kandepiir seisundi arvutustes mõjuvaks koormuseks $p_d = 7,75 \text{ kN/m}^2$ ning kasutuspiir seisundis kasutatakse koormuste normväärtusi $g_k = 2,71 \text{ kN/m}^2$ ja $q_k = 3,0 \text{ kN/m}^2$, mis annavad kokku $p_k = 5,71 \text{ kN/m}^2$. Joonisel 4.1 on toodud paneeli arvutuskeem koos mõjuvate normkoormustega.



Joonis 4.1. CLT paneeli arvutuskeem ja sisejõudude epüürid

4.2.3. Sisejõud

Paneeli sisejõudusid on vaja teada kandepiir seisundis, seega koostatakse epüürid koormust $p_d = 7,75 \text{ kN/m}^2$ kasutades. Põikjõu ja paindemomendi epüür on graafilisel kujul näha paneeli arvutuskeemi all Joonisel 4.1.

Lihttalana töötava paneeli maksimaalne põikjõud esineb mõlemal toel ja selle väärtus on:

$$V_d = \frac{p_d \cdot l}{2} = \frac{7,75 \cdot 6}{2} = 23,25 \text{ kN}$$

Lihttalana töötava paneeli maksimaalne paindemoment esineb sildeava keskel ja selle väärtus on:

$$M_d = \frac{p_d \cdot l^2}{8} = \frac{7,75 \cdot 6^2}{8} = 34,88 \text{ kNm}$$

4.3. Liimpuidust tala

4.3.1. Koormused

Talale kanduvad koormused CLT paneelide kaudu. Jaotises 4.2.1 leitud omakaalukoormusele lisandub tala omakaal, mis võetakse standardi EVS-EN 1991-1-1:2002+NA:2002 tabelis A.3 [15] toodud tiheduse keskväärtuse ja tala mõõtmete järgi: $g_{k,tala} = 0,24 \cdot 0,52 \cdot 4,25 = 0,53 \text{ kN/m}$. Arvestades, et talade samm on 6 m, leiti talale mõjuvate joonkoormuste normväärtused:

1. Omakaalukoormus

$$g_k = 2,71 \cdot 6 + 0,53 = 16,79 \text{ kN/m}$$

2. Kasuskoormus

$$q_k = 3 \cdot 6 = 18 \text{ kN/m}$$

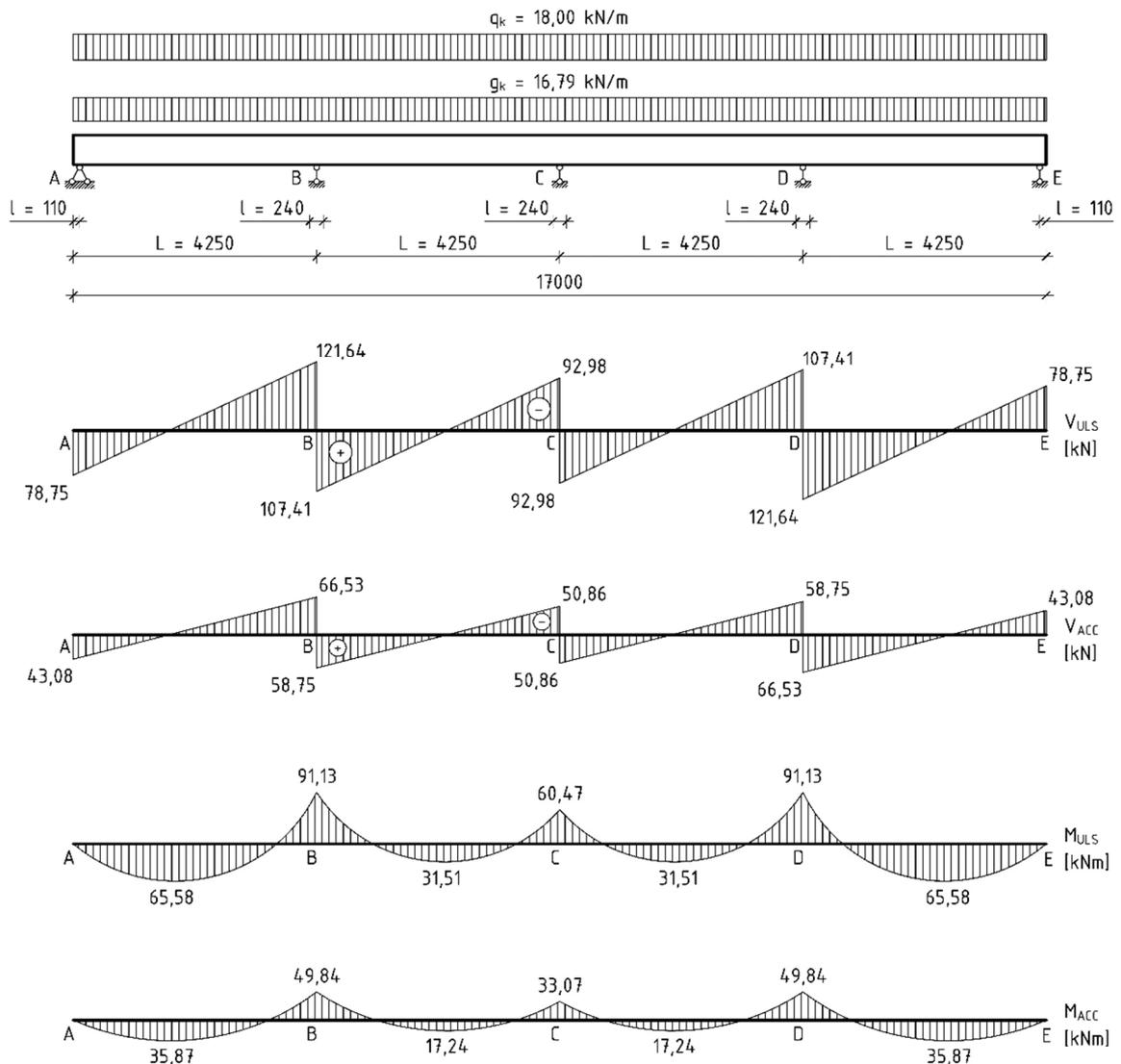
4.3.2. Koormuskombinatsioonid

Koormuskombinatsioonid koostatakse vastavalt peatükis 4.1 toodud valemite üldkujudele. Koostatud kombinatsioonid on koondatud Tabelisse 4.3. Kombinatsioonide koostamisel on jäetud leidmata kombinatsioonid, kus mõjub ainult omakaalukoormus

jaotises 4.2.2 toodud põhjendusel. Seega kasutatakse kandepiirseisundi arvutamiseks koormuskombinatsiooni nr 1, mis annab koormuse väärtuseks $p_d = 47,15 \text{ kN/m}$. Kasutuspiirseisundis kasutatakse koormuste normväärtusi, mis annavad kombineerides kokku $p_k = 34,79 \text{ kN/m}$. Tulekahjuolukorras kasutatakse kombinatsiooni nr 3 väärtust, mis on $p_{d,tuli} = 25,79 \text{ kN/m}$. Leitud normkoormused on näha ka tala arvutuskeemil Joonisel 4.2.

Tabel 4.3. Talale mõjuvate koormuste kombinatsioonid

Jrk nr	Piirseisund	g_k [kN/m ²]	γ_G	g_d [kN/m ²]	q_k [kN/m ²]	γ_Q	ψ	q_d [kN/m ²]	p_d [kN/m ²]
1	Kande-	16,79	1,2	20,15	18,00	1,5	-	27,00	47,15
2	Kasutus-	16,79	1,0	16,70	18,00	1,0	-	18,00	34,79
3	Tulekahju	16,79	1,0	16,79	18,00	1,0	0,5	9,00	25,79



Joonis 4.2. Tala arvutuskeem ja sisejõudude epüürid

4.3.3. Sisejõud

Tala sisejõudude leidmiseks kasutatakse „Ehituskonstruktori käsiraamatus“ toodud tabelit 4.4. [12] Sisejõudude väärtusi on vaja kandepiirseisundi ja tulekahju olukorra arvutamiseks, seetõttu arvutatakse nii ULS kui ACC olukorra sisejõudude väärtused.

Põikjõu arvutused koondati Tabelisse 4.4, kus on toodud väärtused poole tala jaoks. Teine pool talast on põikjõu väärtuste poolest sümmeetriline. Maksimaalne põikjõud tekib tugeidel B ja D (vastupidiste märkidega) ning on tabelis märgitud punase kirjaga. Kandepiirseisundis on põikjõu maksimaalne väärtus $V_d = 121,64$ kN ja tulekahju olukorras $V_{d,tuli} = 66,53$ kN. Tabelisse koondatud väärtustele vastavad tala põikjõu epüürid ULS ja ACC olukorras on toodud tala arvutuskeemi all Joonisel 4.2.

Tabel 4.4. Tala põikjõu väärtused ULS ja ACC olukorras

Sille	Tugi	Tähis	Valem	Väärtus (ULS) [kN]	Väärtus (ACC) [kN]
1	A	V_{1a}	$0,393 \cdot p_d \cdot L$	78,75	43,08
1	B	V_{1b}	$-0,607 \cdot p_d \cdot L$	-121,64	-66,53
2	B	V_{2b}	$(1,143 - 0,607) \cdot p_d \cdot L$	107,41	58,75
2	C	V_{2c}	$-0,464 \cdot p_d \cdot L$	-92,98	-50,86

Paindemomendi arvutused koondati Tabelisse 4.5, kus on toodud väärtused poole tala jaoks. Teine pool talast on nii epüüri kuju kui ka väärtuste poolest sümmeetriline. Käsiraamatu järgi [12] asub esimese silde paindemomendi maksimum $0,4L$ ja $0,5L$ vahel. Maksimaalne paindemoment tekib sarnaselt põikjõuga tugeidel B ja D. Kandepiirseisundis on paindemomendi maksimaalne väärtus $M_d = 91,13$ kNm ja tulekahju olukorras $M_{d,tuli} = 49,84$ kNm. Mõlemad väärtused on tabelis märgitud punase kirjaga. Tabelisse koondatud väärtustele vastavad tala paindemomendi epüürid ULS ja ACC olukorras on toodud tala arvutuskeemi all Joonisel 4.2.

Tabel 4.5. Tala paindemomendi väärtused ULS ja ACC olukorras

Sille	Tugi	Tähis	Valem	Väärtus (ULS) [kNm]	Väärtus (ACC) [kNm]
-	A	M_A	-	0	0
1	-	M_1	$0,077 \cdot p_d \cdot L^2$	65,58	35,87
-	B	M_B	$-0,107 \cdot p_d \cdot L^2$	-91,13	-49,84
2	-	M_2	$0,037 \cdot p_d \cdot L^2$	31,51	17,24
-	C	M_C	$-0,071 \cdot p_d \cdot L^2$	-60,47	-33,07

4.4. Liimpuidust post

4.4.1. Koormused

Enimkoormatud postid asuvad enimkoormatud tala tugede B ja D all. 1. korruse posti kõige alumisele lõikele mõjuvate koormuste leidmiseks tuleb arvestada kõigi korruste koormustega, mis postile mõjuvad. Nendeks on: kahe vahelae omakaalukoormused, kahe büroopinna kasuskoormused, kolme posti omakaalukoormused ning katuselt tulenevad lume- ja omakaalukoormused. Kõikide koormuste normväärtused on koondatud Tabelisse 4.6.

Postile mõjuvad vahelagede omakaalukoormused leitakse tala toereaktsiooni kaudu „Ehituskonstruktori käsiraamatu“ tabeli 4.4 [12] valemi abil. Kaks samasugust vahelage annavad esimese korruse postile koormust, seega tuleb saadud väärtus korrutada kahega. Toereaktsioon vahelae omakaalukoormusest toel B:

$$R_{B,omakaal} = G_{k,VL} = 2 \cdot 1,143 \cdot g_k \cdot L = 2 \cdot 1,143 \cdot 16,79 \cdot 4,25 = 163,12 \text{ kN}$$

Büroopindade kasuskoormused leitakse samuti tala toereaktsiooni kaudu. Kuna samasuguseid koormuseid tuleb kahelt korruselt, korrutatakse väärtus kahega. Toereaktsioon kasuskoormusest toel B:

$$R_{B,kasuskoormus} = Q_{k,büroo} = 2 \cdot 1,143 \cdot q_k \cdot L = 2 \cdot 1,143 \cdot 18 \cdot 4,25 = 174,88 \text{ kN}$$

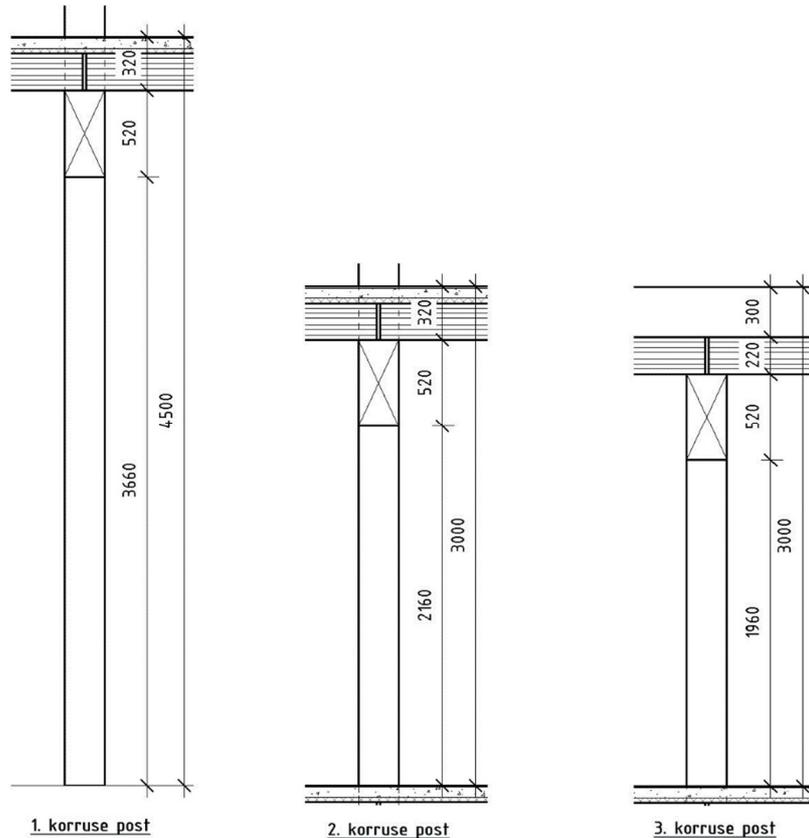
Kokku toetub üksteise peale kolm posti, mis võetakse käesolevas töös tagavara kasuks samasuguse ristlõikega. Vastavalt Joonisel 4.3 toodud loogikale on postide pikkused 3,66 m, 2,16 m ja 1,96 m. Postide omakaalukoormus leitakse standardi EVS-EN 1991-1-1:2002+NA:2002 tabelis A.3 [15] toodud tiheduse keskväärtuse ja postide mõõtmete järgi. Esimese korruse posti kõige alumises lõikes mõjuv koormus:

$$G_{k,postid} = 0,24 \cdot 0,28 \cdot 4,25 \cdot (3,66 + 2,16 + 1,96) = 2,22 \text{ kN.}$$

Hoone katuse projekteerimine ei ole käesoleva töö eesmärk. Seega ei mõelda katusekihte täpselt välja ning ei arvestata tuulekoormust, mis on lamekatuse puhul valdavalt tõstev. Katuse kandekonstruksioon tehakse samasugune nagu vahelael. Mittekandvad kihid varieeruvad: betoonikihti ei valata, tehakse katusele sobilik pealne kiht ja soojapidavuse tagamiseks lisatakse soojustust. Katusekihtide omakaal võetakse kogemuslikult $g_{k,katus} = 2,7 \text{ kN/m}^2$ ja nende paksuseks koos CLT paneeliga 0,52 m. See koormus kandub postidele talade kaudu, mille samm on 6 m. Talale

mõjuvaks joonkoormuseks tuleb $g_{k,katus,joon} = 2,7 \cdot 6 = 16,2 \text{ kN/m}$. Sellest saadakse tala toereaktsiooni kaudu postile mõjuvaks koormuseks:

$$R_{B,katus} = G_{k,katus} = 1,143 \cdot g_{k,katus,joon} \cdot L = 1,143 \cdot 16,2 \cdot 4,25 = 78,70 \text{ kN}$$



Joonis 4.3. Kõigi kolme korruse postide pikkuste leidmise skeem

Katuselt tulenev lumekoormus võetakse ühtlasena kogu katuse pinnale, seejuures ei arvestata kuhjumist parapeti taha. Teades, et tegemist on Tartus asuva lamekatusega hoonega, võetakse katuselt tulenevaks lumekoormuseks „Ehituskonstruktori käsiraamatu“ järgi $s = \mu \cdot s_k = 0,8 \cdot 1,5 = 1,2 \text{ kN/m}^2$. Taladele sammuga 6 m tekitab see joonkoormuse $q_{k,lumi} = 1,2 \cdot 6 = 7,2 \text{ kN/m}$. Sellest saadakse tala toereaktsiooni kaudu postile mõjuvaks koormuseks:

$$R_{B,katus,lumi} = Q_{k,lumi} = 1,143 \cdot g_{k,lumi} \cdot L = 1,143 \cdot 7,2 \cdot 4,25 = 34,98 \text{ kN}$$

Tabel 4.6. Postile mõjuvate koormuste normväärtused

Koormus	Tähis	Väärtus [kN]
Vahelagede omakaal	$G_{k,VL}$	163,12
Katuse omakaal	$G_{k,katus}$	78,70
Postide omakaal	$G_{k,postid}$	2,22
Omakaal kokku	G_k	244,04
Büroopinna kasuskoormus	$Q_{k,büroo}$	174,88
Katuse lumekoormus	$Q_{k,lumi}$	34,98

4.4.2. Koormuskombinatsioonid ja sisejõud

Koormuskombinatsioonid koostatakse vastavalt peatükis 4.1 toodud valemitele. Koostatud kombinatsioonid on koondatud Tabelisse 4.7. Kuna postile mõjub kaks erinevat kasuskoormust, saab koostada kolm kombinatsiooni. See kombinatsioon, kus mõjub vaid omakaal, jäetakse peatükis 4.2.2 toodud põhjendusel välja.

Koormuskombinatsioonid kandepiirseisundis (ULS):

1. Domineerib kasuskoormus:

$$F_{ULS, KK1} = 244,04 \cdot 1,2 + 174,88 \cdot 1,5 + 34,98 \cdot 1,5 \cdot 0,5 = 581,40 \text{ kN}$$

2. Domineerib lumekoormus:

$$F_{ULS, KK2} = 244,04 \cdot 1,2 + 34,98 \cdot 1,5 + 174,88 \cdot 1,5 \cdot 0,7 = 528,94 \text{ kN}$$

Kasutuspiirseisundis koostatavate kombinatsioonide üldkuju on toodud valemis (4.2).

Koormuskombinatsioonid kasutuspiirseisundis (SLS):

3. Domineerib kasuskoormus:

$$F_{SLS, KK3} = 244,04 + 174,88 + 34,98 \cdot 0,5 = 436,41 \text{ kN}$$

4. Domineerib lumekoormus:

$$F_{SLS, KK4} = 244,04 + 34,98 + 174,88 \cdot 0,7 = 401,44 \text{ kN}$$

Tulepüsivuse arvutamiseks koostatakse erakordne kombinatsioon, mille üldkuju on toodud valemis (4.3). Koormuskombinatsioonid tulekahju korral (ACC):

5. Domineerib kasuskoormus:

$$F_{ACC, KK5} = 244,04 + 0,5 \cdot 174,88 + 34,98 \cdot 0 = 331,48 \text{ kN}$$

6. Domineerib lumekoormus:

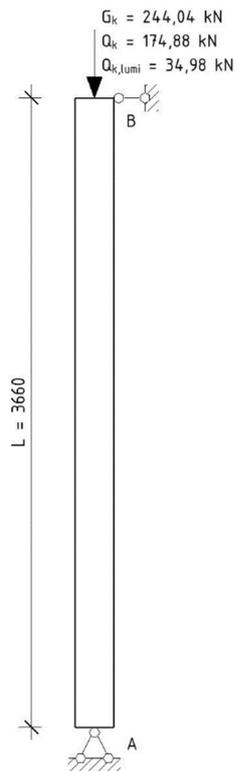
$$F_{ACC, KK6} = 244,04 + 34,98 \cdot 0,2 + 174,88 \cdot 0 = 251,04 \text{ kN}$$

Tabel 4.7. Postile mõjuvate koormuste kombinatsioonid

Jrk nr	Piirseisund	Domineeriv koormus	F_d [kN]
1	Kande-	Kasuskoormus	581,40
2	Kande-	Lumekoormus	528,94
3	Kasutus-	Kasuskoormus	436,41
4	Kasutus-	Lumekoormus	401,44
5	Tulekahju	Kasuskoormus	331,48
6	Tulekahju	Lumekoormus	251,04

Koostatud kombinatsioonide hulgast tuleb välja valida edasiseks arvutamiseks koormused, mis tekitavad antud piirseisundis kõige ohtlikuma olukorra. Kandepiirseisundi arvutamiseks valitakse kombinatsioon nr 1, kus koormuse väärtus on $F_d = 581,40 \text{ kN}$. Kasutuspiirseisundi jaoks valitakse kombinatsioon nr 3, mis annab

koormuse normväärtuseks $F_k = 436,41 \text{ kN}$. Tulepüsivuse arvutustes kasutatakse kombinatsiooni nr 5 koormuse suurusega $F_{d,tuli} = 331,48 \text{ kN}$. Arvestatakse, et koormus mõjub tsentreeritult, sest arvutatakse tala keskele jäävat posti, kus paigaldamistolerantsist tekkivat juhuslikku ekstsentrilisust pole vaja sümmeetria tõttu arvestada. Seega tekib postis vaid survejõud, mille väärtus on vastava koormuskombinatsiooni väärtus. Posti arvutuskeem koos postile mõjuvate koormuste normväärtustega on toodud Joonisel 4.4.



Joonis 4.4. Posti arvutuskeem

5. KAUPLUSE VAHELAE ARVUTUS KANDE- JA KASUTUSPIIRSEISUNDIS

5.1. Metoodika

Ristkihtpuidust paneelide arvutamiseks on kasutusel põhiliselt kolm arvutusmeetodit. [18] Modifitseeritud γ -meetod ehk mehaaniliste liidetega talade arvutusmeetod eeldab, et sisemistes ristisuunalistes kihtides ei teki normaalpingeid. Meetod võtab arvesse nihkedeformatsioone vähendusteguri abil ja annab täpseid tulemusi, kuid võimaldab vaid kolme- ja viiekihiliste paneelide arvutamist. Teine laialt levinud arvutusmeetod on nihke analoogia meetod, mis arvestab nii piki- kui ristisuunaliste kihtide elastsus- ja nihkemoduleid. See annab paneeli jaotamisel kaheks fiktiivseks talaks veelgi täpsemad tulemused kui esimesena mainitud meetod, kuid on käsitsi arvutamiseks küllalt töömahukas. Kolmas meetod on Timoshenko tala mudel, mis arvestab painde- ja nihkedeformatsioone, kuid jätab arvutustest ristisuunaliste kihtide mõju välja.

Bogensperger jt [19] leiab, et ühtlaselt jaotatud koormusega koormatud lihttala skeemi kohaselt töötava paneeli puhul on Timoshenko tala meetod piisavalt täpne ning võimaldab saada ka käsitsi arvutamise korral adekvaatseid tulemusi. Seetõttu valiti CLT paneelide arvutamiseks Timoshenko tala arvutusmeetod.

Antud lamell-liimpuidust konstruktsioon asub pidevalt köetud siseruumis, mistõttu kuulub konstruktsioon kasutusklassi 1. [20] Kasutusklassist sõltub tegur k_{def} , mis arvestab roomedeformatsioone. Vastavalt standardi tabelile 3.2 on võetakse teguri k_{def} väärtuseks 0,6.

Et määrata modifikatsiooniteguri k_{mod} väärtus, tuleb lisaks konstruktsiooni kasutusklassile arvesse võtta ka koormuse kestusklassi. Konstruktsioonile mõjub kolm koormust: alaline omakaalukoormus, keskmise kestusega kasuskoormus ning katuse kaudu postidele ka keskmise kestusega lumekoormus. Standardi tabelist 3.1 võetakse teguri k_{mod} väärtus lühema kestusega koormuse järgi. Kui mõjub vaid omakaalukoormus, siis on k_{mod} väärtus 0,60. Kui mõjub ka kasuskoormus või lumekoormus ehk keskmise kestusega koormus, on teguri k_{mod} väärtus 0,80. [20]

Kandepiirseisundi arvutustes kasutatakse materjali tugevuse leidmisel materjali osavarutegurit γ_M . Eurokoodeksi [20] kohaselt on see lamell-liimpuidul 1,25.

Puidu arvutustugevus kandepiirseisundi arvutustes leitakse valemiga (5.1).

$$f_d = k_{\text{mod}} \frac{f_k}{\gamma_M}, \quad (5.1)$$

kus k_{mod} – koormuse kestuse ja niiskuse mõju arvestav modifikatsioonitegur,
 f_k – normatiivne tugevus,
 γ_M – materjali omaduse osavarutegur.

Arvutatakse elementis tekkivad pinged ja läbipainded, mida võrreldakse vastavalt puidu arvutustugevuse või lubatud läbipainetega. Seejärel leitakse kasutusprotsent vastavas tööolukorras, mis on tekkiva pinge või läbipainde ja puidu arvutustugevuse või lubatud läbipainde suhe protsentides. Selleks, et esitatud nõuded oleksid täidetud, peab kasutusprotsent olema väiksem või äärmisel juhul võrdne 100%-ga.

Järgnevates peatükkides tehakse enimkoormatud elementide arvutused kande- ja kasutuspiirseisundis käsitsi läbi. Eeldatakse, et kui enimkoormatud element on sobivaks dimensioneeritud, sobib samasugune ristlõige ka vähemkoormatud elementidele. Et käsitsi tehtud arvutusi kontrollida, tehti need läbi ka vastavate arvutiprogrammidega: ristkihtliimpuidust paneelid arvutati programmis CLT Designer (vt protokollis Lisas 1) ning talad (vt protokollis Lisas 2) ja postid (vt protokollis Lisas 3) programmiga Autodesk Robot Structural Analysis Professional.

5.2. Ristkihtliimpuidust paneelide arvutus

5.2.1. Paindekandevõime kontroll

Puidu arvutusliku paindetugevuse leidmisel võetakse vastavalt standardile [20] arvesse ka süsteemi tugevust. Selle arvestamiseks on täidetud tingimus, mille kohaselt korduvad ühesugused elemendid – lamellid – moodustavad pideva koormusjaotuse süsteemi ja ühe elemendi purunemise korral saavad koormused vabalt üle kanduda kõrvalelementidele. Süsteemi tugevuse teguriga saab materjali paindetugevust seega suurendada ja see võetakse standardist lähtuvalt $k_{\text{sys}} = 1,1$.

Ristkihtpuidust paneeli arvutuslik paindetugevus:

$$f_{m,g,d} = k_{\text{mod}} \cdot \frac{k_{\text{sys}} \cdot f_{m,g,k}}{\gamma_M} = 0,8 \cdot \frac{1,1 \cdot 24}{1,25} = 16,9 \text{ N/mm}^2$$

Normaalpinged leitakse valemi (5.2) abil [18].

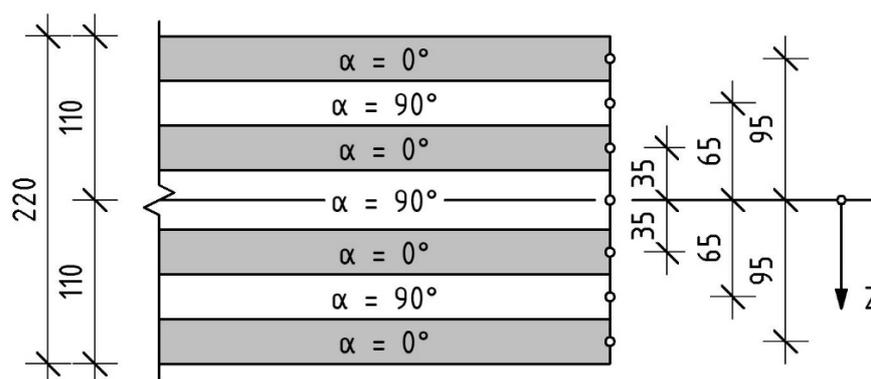
$$\sigma(z) = \frac{E_{0,g,mean} M_d z}{(EI)_{ef}}, \quad (5.2)$$

- kus $\sigma(z)$ – normaalpinged ristlõikes, N/mm^2 ,
 $E_{0,g,mean}$ – elastsusmooduli keskväärtus, N/mm^2 ,
 M_d – paindemoment ristlõikes, $N \cdot mm$,
 z – arvutatava kihi kaugus ristlõike raskuskeskmest, mm ,
 $(EI)_{ef}$ – efektiivne paindejäikus tugevamas suunas, Nmm^2 .

Efektiivse paindejäikuse leidmisel Timoshenko tala meetodil tuleb arvestada ainult pikisuunaliste kihtidega. Ristisuunaliste kihtide elastsusmoodul võetakse $E_{90} = 0$. Joonisel 5.1 on näha arvutustes kasutatavad paneeli kihtide raskuskeskmete kaugused paneeli raskuskeset läbivast teljest ning kihtide suunad. Efektiivne paindejäikus leitakse valemiga (5.3). [18]

$$(EI)_{ef} = \sum (E_i I_i + E_i A_i e_i^2), \quad (5.3)$$

- kus E_i – kihi i elastsusmoodul, N/mm^2 ,
 I_i – kihi i inertsimoment, mm^4 ,
 A_i – kihi i pindala, mm^2 ,
 e_i – kihi i raskuskeskme kaugus paneeli raskuskeskmest, mm .



Joonis 5.1. CLT paneeli arvutustes kasutatavad kaugused

Kasutades valemit (5.3), saadakse antud olukorras 1 m laiuse plaadiriba efektiivseks paindejäikuseks:

$$\begin{aligned} (EI)_{ef} &= 4 \cdot 11500 \cdot \frac{1000 \cdot 30^3}{12} + 2 \cdot 11500 \cdot 1000 \cdot 30 \cdot 95^2 + 2 \cdot 11500 \cdot 1000 \cdot 30 \cdot 35^2 = \\ &= 7,176 \cdot 10^{12} \text{ Nmm}^2 \end{aligned}$$

Seega on maksimaalsed servapinged valemi (5.2) järgi:

$$\sigma_{\max} = \frac{11500 \cdot 34,88 \cdot 10^6 \cdot 110}{7,176 \cdot 10^{12}} = 6,15 \text{ N/mm}^2$$

Paindetugevus on tagatud siis, kui maksimaalsed paindepinged jäävad väiksemaks materjali paindetugevusest:

$$\sigma_{\max} < f_{m,g,d} \rightarrow 6,15 \text{ N/mm}^2 < 16,9 \text{ N/mm}^2$$

Paindekandevõime on piisav, seega on kasutusprotsent:

$$\frac{\sigma_{\max}}{f_{m,g,d}} \cdot 100\% = \frac{6,15}{16,9} \cdot 100\% = 36,4\%$$

5.2.2. Nihkekandevõime kontroll

Nihkekandevõime pikikiudu

Liimpuidu GL24h arvutuslik nihketugevus:

$$f_{v,g,d} = k_{\text{mod}} \cdot \frac{f_{v,g,k}}{\gamma_M} = 0,8 \cdot \frac{3,5}{1,25} = 2,24 \text{ N/mm}^2$$

Maksimaalsed nihkepinged leitakse valemiga (5.4) [18].

$$\tau_{v,d} = \frac{V_d \sum(S \cdot E_{0,g,\text{mean}})}{(EI)_{\text{ef}} \cdot b}, \quad (5.4)$$

kus V_d – arvutuslik põikjõud, N,
 S – töötava kihi staatiline moment, mm^3 ,
 b – plaadi laius, mm.

Maksimaalsed nihkepinged pikikiudu 1 m laiuse plaadiriba kohta:

$$\tau_{v,d} = \frac{23,25 \cdot 10^3}{7,176 \cdot 10^{12} \cdot 1000} \cdot 11500 \cdot 30 \cdot 1000 \cdot (95 + 35) = 0,145 \text{ N/mm}^2$$

Nihkekandevõime pikikiudu on tagatud siis, kui maksimaalsed nihkepinged pikikiudu jäävad väiksemaks materjali nihketugevusest pikikiudu:

$$\tau_{v,d} < f_{v,g,d} \rightarrow 0,145 \text{ N/mm}^2 < 2,24 \text{ N/mm}^2$$

Nihkekandevõime pikikiudu on piisav, seega on kasutusprotsent:

$$\frac{\tau_{v,d}}{f_{v,g,d}} \cdot 100\% = \frac{0,145}{2,24} \cdot 100\% = 6,5\%$$

Nihkekandevõime ristikiudu

Liimpuidu GL24h arvutuslik külgnihketugevus:

$$f_{r,g,d} = k_{\text{mod}} \cdot \frac{f_{r,g,k}}{\gamma_M} = 0,8 \cdot \frac{1,2}{1,25} = 0,77 \text{ N/mm}^2$$

Maksimaalsed nihkepinged ristikiudu leitakse samuti valemiga (5.4), kuid nüüd arvestatakse vaid ristisuunaliste kihtidega ning pikisuunaliste kihtide elastsusmoodul võetakse $E_0 = 0$ [18]:

$$\tau_{r,d} = \frac{23,25 \cdot 10^3}{7,176 \cdot 10^{12} \cdot 1000} \cdot 11500 \cdot 1000 \cdot 40 \cdot 95 = 0,142 \text{ N/mm}^2$$

Nihkekandevõime ristikiudu on tagatud siis, kui maksimaalsed nihkepinged ristikiudu jäävad väiksemaks materjali külgnihketugevusest:

$$\tau_{r,d} < f_{r,g,d} \rightarrow 0,142 \text{ N/mm}^2 < 0,77 \text{ N/mm}^2$$

Nihkekandevõime ristikiudu on piisav, seega on kasutusprotsent:

$$\frac{\tau_{r,d}}{f_{r,g,d}} \cdot 100\% = \frac{0,142}{0,77} \cdot 100\% = 18,4\%$$

5.2.3. Survekandevõime kontroll ristikiudu

Ristikiudu survekandevõimet ehk muljumist tuleb kontrollida toepiirkonnas, kus paneelid on surutud vastu talasid. Et survekandevõime oleks tagatud, peab olema täidetud valemis (5.5) toodud tingimus. [20]

$$\sigma_{c,90,d} \leq k_{c,90} f_{c,90,d} \quad (5.5)$$

kus $\sigma_{c,90,d}$ – efektiivse kontaktpinna arvutuslik survepinge ristikiudu, N/mm^2 ,

$k_{c,90}$ – koormuse konfiguratsiooni arvestav tegur,

$f_{c,90,d}$ – arvutuslik survetugevus ristikiudu, N/mm^2 .

Liimpuidu GL24h arvutuslik survetugevus ristikiudu:

$$f_{c,90,d} = k_{\text{mod}} \cdot \frac{f_{c,90,k}}{\gamma_M} = 0,8 \cdot \frac{2,5}{1,25} = 1,6 \text{ N/mm}^2$$

Eurokoodeksis on teguri $k_{c,90}$ väärtuste valimiseks toodud tingimused [20]. Juhul, kui need tingimused ei kehti, siis võetakse see 1,0. Antud olukorras võetakse $k_{c,90} = 1,0$ tagavara kasuks, st puidu survetugevust ristikiudu ei suurendata.

Survepinge leidmiseks tuleb arvutuslik survejõud $F_{c,90,d}$ (ehk toereaktsioon ehk maksimaalne põikjõud toel) jagada efektiivse kontaktpinnaga survele (A_{ef}). Arvestades, et CLT paneelid toetuvad taladele, mille laius $b_{tala} = 240$ mm, ja jättes paigaldustolerantsiks 20 mm, tuleb paneeli ühe otsa kontaktpikkuseks $l = (240 - 20)/2 = 110$ mm. Efektiivne kontaktpikkus võtab arvesse seda, et toepiirkonnas ei toimu tala purunemine survele 90° nurga all, vaid kiud muljuvad kontaktpinda suurendades. Antud olukorras ei ole vaja kontaktpinna suurenemist arvestada, sest tekkinud pinged jäävad igal juhul väiksemaks materjali tugevusest. Seega tekib 1 m laiuse plaadiriba kohta survepinge:

$$\sigma_{c,90,d} = \frac{F_{c,90,d}}{A_{ef}} = \frac{F_{c,90,d}}{l \cdot b} = \frac{23,25 \cdot 10^3}{110 \cdot 1000} = 0,211 \text{ N/mm}^2$$

Tingimus, mis on toodud valemis (5.5), on täidetud:

$$\sigma_{c,90,d} < k_{c,90} f_{c,90,d} \rightarrow 0,211 \text{ N/mm}^2 < 1,6 \text{ N/mm}^2$$

Kasutusprotsent ristikiudu survele:

$$\frac{\sigma_{c,90,d}}{k_{c,90} f_{c,90,d}} \cdot 100\% = \frac{0,211}{1,6} \cdot 100\% = 13,2\%$$

5.2.4. Läbipainde kontroll

Hetkeline läbipaine

Hetkelise paigutuse leidmisel kasutatakse tugevusõpetusest tuntud valemit (5.6), mis on ühtlaselt koormatud lihttala valem. Et oleks lihtsam lõplikke läbipaindeid arvutada, leitakse hetkeline läbipaine kahes jaos – eraldi omakaalukoormusest ja muutuvkoormusest. Koormuste väärtused võetakse vastavalt peatükis 4.2.2 koostatud normkombinatsioonile ehk kasutatakse koormuste normatiivseid väärtuseid.

$$w_{inst,p} = \frac{5 \cdot p_k \cdot L_{ef}^4}{384 \cdot (EI)_{ef}}, \quad (5.6)$$

kus $w_{inst,p}$ – algdeformatsioon koormusest, mm,

p_k – koormuse normatiivne väärtus, kN/m,

L_{ef} – lihttala efektiivne pikkus, mm.

Valem (5.6) arvestab vaid paindedeformatsioone, kuid täpsemate läbipainete saamiseks tuleb leida ka nihkest lisanduv deformatsioon. See leitakse valemiga (5.7). [21]

$$w_s = \frac{p_k \cdot L_{ef}^2}{8 \cdot G \cdot A_{red}}, \quad (5.7)$$

kus A_{red} – ristlõike redutseeritud pindala, mm^2 .

Ristlõike redutseeritud pindala on ristlõike pindala A ja kujuteguri k , mis sõltub ristlõike kujust, jagatis. Dimensioonitu tegur k on ristkülikristlõike puhul 1,2. [22] Ristlõike redutseeritud pindala 1 m laiuse plaadiriba kohta on seega:

$$A_{red} = \frac{A}{k} = \frac{220 \cdot 1000}{1,2} = 183333 \text{ mm}^2$$

Lihttala efektiivne pikkus L_{ef} on talaosa pikkus, mille vahel saab realselt läbipaine toimuda. Kogemuslikult võetakse selle jaoks paneeli pikkusest maha mõlemast paneeli otsast poole toe laius:

$$L_{ef} = 6000 - 2 \cdot 0,5 \cdot 110 = 5890 \text{ mm}$$

Algdeformatsioon omakaalukoormusest valemite (3.8) ja (3.9) järgi:

$$w_{inst,G} = \frac{5 \cdot g_k \cdot L_{ef}^4}{384 \cdot (EI)_{ef}} + \frac{g_k \cdot L^2}{8 \cdot G \cdot A_{red}} = \frac{5 \cdot 2,71 \cdot 5890^4}{384 \cdot 7,176 \cdot 10^{12}} + \frac{2,71 \cdot 5890^2}{8 \cdot 650 \cdot 183333} = 6,3 + 0,1 = 6,4 \text{ mm}$$

Algdeformatsioon muutuvkoormusest valemite (3.8) ja (3.9) järgi:

$$w_{inst,Q} = \frac{5 \cdot q_k \cdot L_{ef}^4}{384 \cdot (EI)_{ef}} + \frac{q_k \cdot L^2}{8 \cdot G \cdot A_{red}} = \frac{5 \cdot 3 \cdot 5890^4}{384 \cdot 7,176 \cdot 10^{12}} + \frac{3 \cdot 5890^2}{8 \cdot 650 \cdot 183333} = 7,0 + 0,1 = 7,1 \text{ mm}$$

Algdeformatsioon ehk hetkeline läbipaine kahest koormusest kokku:

$$w_{inst} = w_{inst,G} + w_{inst,Q} = 6,4 + 7,1 = 13,5 \text{ mm}$$

Maksimaalseks lubatud hetkeliseks läbipaindeks võetakse Eurokoodeksi rahvusliku lisa järgi 1/400 sildeavast [20]. See teeb 6 m silde korral lubatud hetkeliseks läbipaindeks $w_{inst,max} = 6000/400 = 15 \text{ mm}$, mis peab kasutuspiiriseisundi tingimuste täitmiseks olema suurem arvutatud hetkelisest läbipaindest.

$$w_{inst} = 13,5 \text{ mm} < w_{inst,max} = 15 \text{ mm}$$

Seega jääb konstruktsiooni hetkeline läbipaine väiksemaks lubatud läbipaindest. Hetkelise läbipainde kasutusprotsent on:

$$\frac{w_{inst}}{w_{inst,max}} \cdot 100\% = \frac{13,5}{15} \cdot 100\% = 90,0\%$$

Lõplik läbipaine

Lõpliku läbipainde arvutamisel lähtutakse Eurokoodeksis 5 toodud põhimõtetest ja valemitest [20]. See arvestab lõplike deformatsioonide hulka lisaks algdeformatsioonile ka roome mõju teguri k_{def} abil.

Lõplik läbipaine omakaalukoormusest:

$$w_{fin,G} = w_{inst,G} \cdot (1 + k_{def}) = 6,4 \cdot (1 + 0,6) = 10,3 \text{ mm}$$

Lõplik läbipaine muutuvkoormusest:

$$w_{fin,Q} = w_{inst,Q} \cdot (1 + \Psi_{2,1} k_{def}) = 7,1 \cdot (1 + 0,3 \cdot 0,6) = 8,4 \text{ mm}$$

Lõplik läbipaine kahest koormusest kokku:

$$w_{fin} = w_{fin,G} + w_{fin,Q} = 10,3 + 8,4 = 18,7 \text{ mm}$$

Maksimaalne lubatud lõplik läbipaine on Eurokoodeksi rahvusliku lisa kohaselt 1/300 sildeavast [20], mis teeb antud olukorras $w_{fin,max} = 6000/300 = 20 \text{ mm}$. Tekkinud läbipaine peab jääma sellest väärtusest väiksemaks.

$$w_{fin} = 18,7 \text{ mm} < w_{fin,max} = 20 \text{ mm}$$

Seega jääb konstruktsiooni lõplik läbipaine väiksemaks lubatud läbipaindest. Lõpliku läbipainde kasutusprotsent on:

$$\frac{w_{fin}}{w_{fin,max}} \cdot 100\% = \frac{18,7}{20} \cdot 100\% = 93,5\%$$

5.2.5. Vibratsioonid

Omavõnkesagedused vastavalt võnkeperioodide arvule saab leida ligikaudse valemiga (5.8), mis kehtib vabalt neljal serval toetatud nelinurkse põranda korral. [23]

$$f_n = f_0 \cdot \sqrt{1 + n^4 \cdot \left(\frac{L}{B}\right)^4 \cdot \frac{(EI)_b}{(EI)_{ef}}}, \quad (5.8)$$

kus f_0 – omavõnkesagedus ehk põhisagedus, Hz,

n – võngete arv,

L – põranda sildeava, m,

B – põranda laius, m,

$(EI)_b$ – efektiivne paindejäikus nõrgemas suunas, Nm^2/m ,

$(EI)_{ef}$ – efektiivne paindejäikus tugevamas suunas, Nm^2/m .

Valemis (5.8) toodud põhisagedus nelinurkse vabalt neljal serval toetatud põranda korral arvutatakse valemiga (5.9). [23]

$$f_0 = \frac{\pi}{2 \cdot L^2} \cdot \sqrt{\frac{(EI)_{ef}}{m}}, \quad (5.9)$$

kus m – põranda ühikpinna mass, kg/m².

Põranda ühikpinna massi leidmisel arvestatakse peale omakaalukoormuse ka kasuskoormust. Viimase juures kasutatakse tegurit $\psi_2 = 0,3$. Ühikpinna massiks tuleb:

$$m = 100 \cdot (g_k + \psi_2 \cdot q_k) = 100 \cdot (2,71 + 0,3 \cdot 3) = 361 \text{ kg/m}^2$$

Põhisagedus valemi (5.9) järgi:

$$f_0 = \frac{\pi}{2 \cdot 6^2} \cdot \sqrt{\frac{7,176 \cdot 10^6}{361}} = 6,16 \text{ Hz}$$

Efektivne paindejäikus nõrgemas suunas leitakse valemiga (5.3), arvestades vaid paneeli ristisuunalisi kihte:

$$(EI)_b = 2 \cdot 11500 \cdot \frac{1000 \cdot 30^3}{12} + 11500 \cdot \frac{1000 \cdot 40^3}{12} + 2 \cdot 11500 \cdot 1000 \cdot 30 \cdot 65^2 = 3,028 \cdot 10^{12} \text{ Nmm}^2$$

Põranda vibratsioonide kontrollimiseks on vaja leida omavõnkesagedus ainult esimeses perioodis. Arvestades, et põranda sildeava L on 6 m ja põranda laius B on 17 m, saadakse valemi (5.9) järgi f_1 :

$$f_1 = 6,16 \cdot \sqrt{1 + 1^4 \cdot \left(\frac{6}{17}\right)^4 \cdot \frac{3,028 \cdot 10^{12}}{7,176 \cdot 10^{12}}} = 6,18 \text{ Hz}$$

Et teostada vibratsioonidele kehtiva Eurokoodeksi järgset kontrolli, peab omavõnkesagedus f_1 olema suurem kui 8 Hz [20]. Antud olukorras see nii ei ole, mistõttu tuleb teostada kontroll täpsemat meetodit kasutades.

Vibratsioonid meetodiga rEC5

Vibratsioonide täpsemaks kontrolliks valitakse Eurokoodeks 5-st edasiarendatud meetod, mis on kirjanduses tuntud nimega rEC5 meetod. [24] See meetod jagab põrandad ja vahelaed seitsmesse klassi (I – VII), millest I klass toimib vibratsioonide mõttes kõige paremini ning VII klass ei ole aktsepteeritav. See, millisesse klassi kuuluv peab vahelagi olema, sõltub põranda kasuskoormuse klassist. Büroopinnad (klass B) on

jagatud kolme rühma (vt Tabel 5.1). Esimesse rühma kuuluvad I ja II klass, mis täidab vibratsioonide osas kõige kõrgemaid nõudmisi. Teise rühma moodustab III klass, mis täidab vibratsioonide baasnõudmisi. Kolmas rühm, mis täidab kõige minimaalsemaid büroopindade nõudmisi, lubab teha pöranda IV klassi kuuluvana. Madalama klassiga büroopindade vahelagesid ei ole rEC5 meetodi kohaselt soovitatav ehitada. Järgnevalt leitakse, millisesse klassi antud pörandakonstruktsioon kuulub ja kas see on büroopinna vahelae jaoks sobiv.

Tabel 5.1. Bürooruumi vahelae kvaliteedirühmad rEC5 meetodi korral [24]

Kasuskoormuse klass	Kvaliteetne	Tavaline	Säästlik	Ei ole soovitatav
B – bürooruumid	I ja II klass	III klass	IV klass	V, VI ja VII klass

Omavõnkesagedus leitakse rEC5 meetodiga samamoodi kui Eurokoodeksi meetodi korral. [24] Antud olukorras on see juba valemiga (5.9) välja arvatud ning see on $f_1 = 6,16$ Hz. Arvutusmeetodi rEC5 kasutamiseks peab omavõnkesagedus olema suurem kui 4,5 Hz (vt Tabel 5.2). Antud olukorras see nii on: $6,16 \text{ Hz} > 4,5 \text{ Hz}$.

Tabel 5.2. Vibratsioonidega seotud nõuded vahelagedele klasside kaupa [24]

Kriteerium	Vahelae konstruktsiooni klass						
	I	II	III	IV	V	VI	VII
Jäikuse kriteerium $w_{1kN}[mm] \leq$	0,25		0,5	0,8	1,2	1,6	Nõuded puuduvad
Vastetegur $R \leq$	4	8	12	16	24	32	
Sageduse kriteerium $f_1[\text{Hz}] \geq$	4,5						

Esmalt kontrollitakse, milline on konstruktsiooni jäikus ja kas see vastab nõuetele. Valemiga (5.10) leitakse läbipaine, mille tekitab 1 kN suurune punktkoormus. [24]

$$w_{1kN} = \frac{F \cdot L^3}{48 \cdot (EI)_{ef} \cdot b_{ef}}, \quad (5.10)$$

kus F – koondatud koormus suurusega 1 kN,

b_{ef} – efektiivne laius, m.

Efektiivne laius leitakse valemiga (5.11) [24].

$$b_{ef} = \min \left\{ \frac{L}{1,1} \cdot \sqrt[4]{\frac{(EI)_b}{(EI)_{ef}}}, b \right\} \quad (5.11)$$

Valemi (5.11) järgi saadakse efektiivne laius:

$$b_{\text{ef}} = \min \left\{ \frac{6}{1,1} \cdot \sqrt[4]{\frac{3,028 \cdot 10^6}{7,176 \cdot 10^6}} = \min \left\{ \frac{4,396}{17} = 4,396 \right. \right.$$

Valemi (5.10) järgi on 1 kN poolt tekitatud läbipaine:

$$w_{1\text{kN}} = \frac{1000 \cdot 6000^3}{48 \cdot 7,176 \cdot 10^{12} \cdot 4,396} = 0,143 \text{ mm}$$

Jäikuse kriteeriumi järgi [24] kuulub konstruktsioon I klassi: $w_{1\text{kN}} = 0,143 \text{ mm} < 0,25 \text{ mm}$ (vt Tabel 5.2).

Konstruktsiooni omavõnkesagedus on 6,16 Hz, mis jääb 4,5 Hz ja 8 Hz vahele. Sellisel juhul tuleb kontrollida vibratsioonide kiirendust. Selleks leitakse ruutkeskmise kiirendus valemiga (5.12). [24]

$$a_{\text{rms}} = \frac{0,4 \cdot \alpha \cdot F_0}{2 \cdot \sqrt{2} \cdot \zeta \cdot M^*}, \quad (5.12)$$

kus $\alpha = e^{-0,4 \cdot f_1}$ – Fourier'i koefitsient,

F_0 – vertikaalne koormus inimese liikumisest suurusega 700 N,

ζ – sumbuvustegur,

M^* – modaalmass, kg.

Fourier'i koefitsient:

$$\alpha = e^{-0,4 \cdot 6,16} = 0,0851$$

Modaalmass M^* leitakse valemiga (5.13). [24]

$$M^* = \frac{m \cdot B \cdot L}{s}, \quad (5.13)$$

kus m – põranda ühikpinna mass, kg/m²,

s – põrandat toetavate servade arv.

Modaalmass valemiga (5.13):

$$M^* = \frac{361 \cdot 17 \cdot 6}{4} = 9205,5 \text{ kg}$$

Arvestades, et sumbuvustegur ζ massiivpuidust põranda korral on 0,025 [24], leitakse valemiga (5.12) ruutkeskmise kiirendus:

$$a_{\text{rms}} = \frac{0,4 \cdot 0,0851 \cdot 700}{2 \cdot \sqrt{2} \cdot 0,025 \cdot 9205,5} = 0,03661 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Leitud suurus tuleb teisendada vasteteguriks R , et määrata konstruktsiooni klass. See saadakse ruutkeskmise kiirenduse jagamisel 0,005-ga:

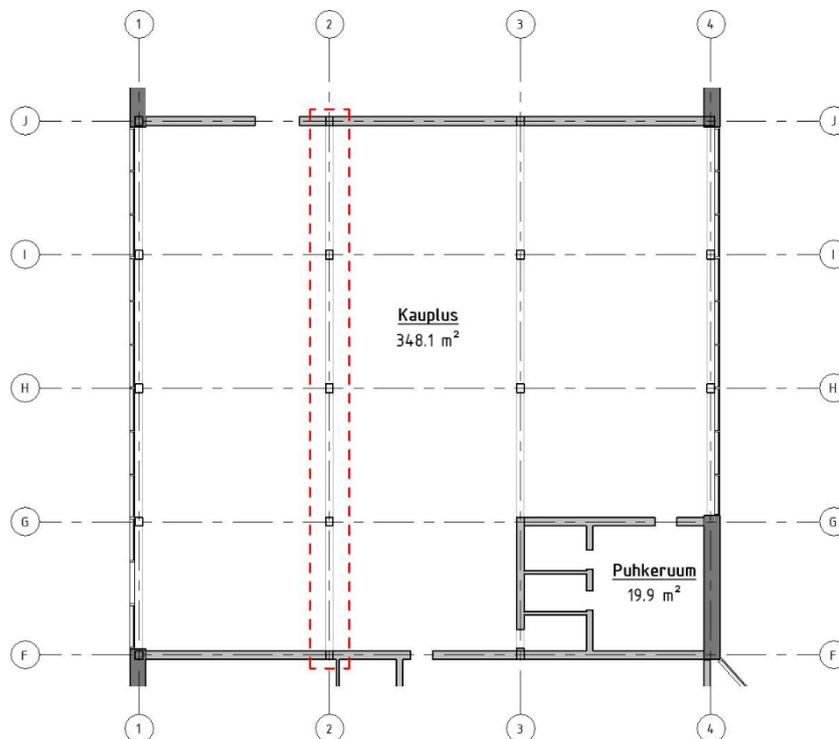
$$R = \frac{0,03661}{0,005} = 7,322$$

Vibratsioonide kiirenduse kriteeriumi alusel [24] kuulub vahelae konstruktsioon II klassi: $4 < 7,322 < 8$ (vt Tabel 5.2).

Teades, et jäikuse kriteeriumi järgi kuulub vahelagi I klassi ja vibratsioonide kiirenduse kriteeriumi järgi II klassi, on lõplikult vahelae konstruktsiooni klassiks II klass. Leitud klass kuulub esimesse rühma (vt Tabel 5.1), mis täidab büroopindadele esitatud kõige kõrgemad nõudmised.

5.3. Liimpuidust talade arvutus

Käesolevas alapeatükis teostatakse tugevusarvutused enimkoormatud talale. Selle asukoht plaanil on toodud Joonisel 5.2.



Joonis 5.2. Enimkoormatud tala asukoht plaanil

5.3.1. Tala laiuse ja kõrguse leidmine

Järgnevalt on toodud mõtte- ja arvutuskäik, mille abil leiti tala laius ja kõrgus. Järgmistes jaotistes kontrollitakse, kas selliselt leitud tala mõõtmed rahuldavad ka ülejäänud tingimusi kande- ja kasutuspiiriseisundis.

Talale kanduvad koormused CLT paneelide kaudu. Jaotises 4.2.1 leitud omakaalukoormusele lisandub tala omakaal, mis võetakse esialgse arvutuse jaoks 0,60 kN/m. Arvestades, et talade samm on 6 m, leiti talale mõjuvad esialgsed normjoonkoormused:

1. Omakaalukoormus

$$g_k = 2,71 \cdot 6 + 0,60 = 16,86 \text{ kN/m}$$

2. Kasuskoormus

$$q_k = 3 \cdot 6 = 18 \text{ kN/m}$$

Esialgse arvutuse jaoks on vaja koostada üks koormuskombinatsioon. See koostatakse valemi (4.1) järgi, võttes domineerivaks muutuvkoormuseks kasuskoormuse:

$$p_{d,tala1} = 1,2 \cdot 16,86 + 1,5 \cdot 18 = 47,23 \text{ kN/m}$$

Tala laiuseks võetakse suurim standardmõõt ehk 240 mm [25], et tala oleks võimalik teha ühe lamelli laiune. Minimaalne kõrgus leitakse nihketugevuse järgi. Tuletuskäik on toodud valemis (5.14).

$$\tau_{v,g,d} \leq \frac{V_d \cdot S}{b_{ef} \cdot I} = \frac{V_d \cdot \frac{b \cdot h^2}{8}}{b \cdot k_{cr} \cdot \frac{b \cdot h^3}{12}} = \frac{1,5 \cdot V_d}{h \cdot b \cdot k_{cr}} \rightarrow h \geq \frac{1,5 \cdot V_d}{\tau_{v,g,d} \cdot b \cdot k_{cr}}, \quad (5.14)$$

kus S – ristlõike staatiline moment peateljelt suhtes, mm^3 ,

b_{ef} – ristlõike efektiivne laius, mm ,

I – ristlõike inertsimoment peateljelt suhtes, mm^4 .

Tala esialgsete mõõtmete leidmiseks on vaja leida vaid maksimaalne põikjõu väärtus, mis leitakse „Ehituskonstruktori käsiraamatu“ tabelis 4.4 toodud valemiga [12].

$$V_d = 0,607 \cdot p_{d,tala1} \cdot L = 0,607 \cdot 47,23 \cdot 4,25 = 121,9 \text{ kN}$$

Ristlõike efektiivne laius b_{ef} võtab arvesse pragude tekkimise mõju, kasutades nihkekandevõime pragunemistegurit k_{cr} . Eurokoodeksi kohaselt võetakse liimpuidu korral $k_{cr} = 0,67$. [20]

Maksimaalseks lubatud nihkepingeks võetakse liimpuidu GL28h arvutuslik nihketugevus:

$$\tau_{v,g,d} = f_{v,g,d} = k_{\text{mod}} \cdot \frac{f_{v,g,k}}{\gamma_M} = 0,8 \cdot \frac{3,5}{1,25} = 2,24 \text{ N/mm}^2$$

Valemi (5.14) järgi peab tala kõrgus olema vähemalt:

$$h \geq \frac{1,5 \cdot 121,9 \cdot 10^3}{2,24 \cdot 240 \cdot 0,67} = 508 \text{ mm}$$

Tala kõrguseks võetakse lähim suurim standardne mõõt – $h = 520 \text{ mm}$. Edasistes tala kandevõime kontrollarvutustes kasutatakse peatükis 4.3 leitud koormusi, koormuskombinatsioone ja sisejõudusid.

5.3.2. Paindekandevõime kontroll

Standardi kohaselt võib paindel võtta arvesse elemendi suuruse mõju tugevusele. [20] Selleks kasutatakse tegurit k_h , millega suurendatakse paindetugevuse normväärtust $f_{m,g,k}$, kui elemendi kõrgus h on väiksem kui 600 mm. Teguri väärtus leitakse valemiga (5.15).

$$k_h = \min \left\{ \left(\frac{600}{h} \right)^{0,1}, 1,1 \right\} \quad (5.15)$$

Arvestades, et $h = 520 \text{ mm}$, tuleb teguri k_h väärtuseks:

$$k_h = \min \left\{ \left(\frac{600}{520} \right)^{0,1}, 1,1 \right\} = \min \left\{ 1,01, 1,1 \right\} = 1,01$$

Arvutuslik paindetugevus on seega:

$$f_{m,g,d} = k_{\text{mod}} \cdot \frac{f_{m,g,k} \cdot k_h}{\gamma_M} = 0,8 \cdot \frac{28 \cdot 1,01}{1,25} = 18,10 \text{ N/mm}^2$$

Ristlõike tugevusmoment:

$$W_y = \frac{b \cdot h^2}{6} = \frac{240 \cdot 520^2}{6} = 10,82 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$$

Maksimaalne paindepinge elemendis:

$$\sigma_{m,g,d} = \frac{M_d}{W_y} = \frac{91,13 \cdot 10^6}{10,82 \cdot 10^6} = 8,42 \text{ N/mm}^2$$

Paindetugevus on tagatud siis, kui maksimaalsed paindepinged jäävad väiksemaks materjali paindetugevusest:

$$\sigma_{m,d} < f_{m,d} \rightarrow 8,42 \text{ N/mm}^2 < 18,10 \text{ N/mm}^2$$

Paindekandevõime on piisav, seega on kasutusprotsent:

$$\frac{\sigma_{m,d}}{f_{m,d}} \cdot 100\% = \frac{8,42}{18,10} \cdot 100\% = 46,5\%$$

5.3.3. Kiivekandevõime kontroll

Tegemist on talaga, millele mõjub vaid paindemoment M_y ilma survejõuta. Eurokoodeksi kohaselt peab olema täidetud tingimus valemis (5.16) [20].

$$\sigma_{m,d} \leq k_{crit} \cdot f_{m,d}, \quad (5.16)$$

kus k_{crit} – paindetugevuse vähenemist arvestav kiivetegur.

Antud olukorras on paneelid toetatud taladele sedasi, et tala survepoolne põiksuunaline paigutus on takistatud. Tala ja paneel liidetakse kruvide abil, mille samm $s = 300$ mm. Samuti on takistatud tugeudel väändepööre. See tähendab, et kiivumist ei toimu ja Eurokoodeksi alusel [20] võetakse kiiveteguri k_{crit} väärtus võrdseks 1-ga.

Tingimus valemis (5.16) on täidetud:

$$8,42 \text{ N/mm}^2 < 1,0 \cdot 18,10 \text{ N/mm}^2 = 18,10 \text{ N/mm}^2$$

5.3.4. Nihkekandevõime kontroll

Nihkepinged leitakse valemiga (5.17) [18].

$$\tau_d = \frac{V_d \cdot S}{b_{ef} \cdot I} \quad (5.17)$$

Lihtsustades valemit (5.17), saadakse maksimaalseks nihkepingeks:

$$\tau_{v,d} = \frac{V_d \cdot S}{b_{ef} \cdot I} = \frac{V_d \cdot \frac{b \cdot h^2}{8}}{b \cdot k_{cr} \cdot \frac{b \cdot h^3}{12}} = \frac{1,5 \cdot V_d}{h \cdot b \cdot k_{cr}} = \frac{1,5 \cdot 121,64 \cdot 10^3}{520 \cdot 240 \cdot 0,67} = 2,18 \text{ N/mm}^2$$

Nihkekandevõime on tagatud siis, kui maksimaalsed nihkepinged jäävad väiksemaks materjali arvutuslikust nihketugevusest:

$$\tau_{v,d} < f_{v,g,d} \rightarrow 2,18 \text{ N/mm}^2 < 2,24 \text{ N/mm}^2$$

Nihkekandevõime on piisav, seega on kasutusprotsent:

$$\frac{\tau_{v,d}}{f_{v,g,d}} \cdot 100\% = \frac{2,18}{2,24} \cdot 100\% = 97,3\%$$

5.3.5. Survekandevõime kontroll ristikiudu

Survekandevõimet ristikiudu tuleb kontrollida toepiirkonnas, kus tala on surutud vastu posti. Antud olukorras tuleb sooritada kontroll kahel toel. Esiteks tuleb kontrollida kohta, kus tekib maksimaalne survejõud, mis on tugeudel B ja D. Teisena tuleb kontrollida kohta, kus kontaktpikkus on minimaalne, mis on tugeudel A ja E. Lisaks paneelidelt taladele kanduvale koormusele tuleb arvestada ka koormusega, mis mõjub talale sellele toetuva posti kaudu.

Sarnaselt paneelide arvutusega, tuleb täita valemis (5.5) toodud tingimus. Eurokoodeksi kohaselt võetakse teguri $k_{c,90}$ väärtusteks 1,75, kuna tegemist on kohttoega, mille lähedal (so $2h = 2 \cdot 560 = 1120 \text{ mm}$) ei mõju koondatud koormusi. [20]

Liimpuidu GL28h arvutuslik survetugevus ristikiudu:

$$k_{c,90} \cdot f_{c,90,d} = k_{c,90} \cdot k_{\text{mod}} \cdot \frac{f_{c,90,k}}{\gamma_M} = 1,75 \cdot 0,8 \cdot \frac{2,5}{1,25} = 2,8 \text{ N/mm}^2$$

Survekandevõime kontroll tugeudel B ja D

Kontrollitakse talale mõjuvate koormuste tekitatud survejõudu, mis on tala toereaktsioon tugeudel B ja D:

$$F_{c,90,d} = 121,64 + 107,41 = 229,05 \text{ kN}$$

Kontaktpikkus l võetakse tala toetava posti laiuse järgi – $l = 280 \text{ mm}$. Efektiivne kontaktpikkus võtab arvesse seda, et toepiirkonnas ei toimu tala purunemine survele 90° nurga all, vaid kiud muljuvad kontaktpinda suurendades. Standardi järgi saab efektiivset kontaktpikkust suurendada tala vaba otsa suunas 30 mm. Antud olukorras

arvutatakse jätkuvtala keskmist tuge, mistõttu saab efektiivset kontaktpikkust suurendada mõlemas suunas [20]:

$$l_{ef} = l + 2 \cdot 30 = 280 + 60 = 340 \text{ mm}$$

Seega saadakse mõjuvaks survepingeks:

$$\sigma_{c,90,d} = \frac{F_{c,90,d}}{A_{ef}} = \frac{F_{c,90,d}}{l_{ef} \cdot b} = \frac{229,05 \cdot 10^3}{340 \cdot 240} = 2,8 \text{ N/mm}^2$$

Tingimus, mis on toodud valemis (5.5), on täidetud:

$$\sigma_{c,90,d} \leq k_{c,90} f_{c,90,d} \rightarrow 2,8 \text{ N/mm}^2 = 2,8 \text{ N/mm}^2$$

Survekandevõime kontroll tuge del A ja E

Kontrollitakse talale mõjuvate koormuste tekitatud survejõudu, mis on tala toereaktsioon tuge del A ja E:

$$F_{c,90,d} = 78,75 \text{ kN}$$

Eeldatakse, et tala otsa toetava posti peale toetatakse teiselt poolt ka tala ning paigaldustolerants on 20 mm. Seega tuleb kontaktpikkuseks $l = (280 - 20)/2 = 130 \text{ mm}$. Efektiivne kontaktpikkus saab suurene da vaid ühes suunas [20]:

$$l_{ef} = l + 30 = 130 + 30 = 160 \text{ mm}$$

Seega saadakse mõjuvaks survepingeks:

$$\sigma_{c,90,d} = \frac{F_{c,90,d}}{A_{ef}} = \frac{F_{c,90,d}}{l_{ef} \cdot b} = \frac{78,75 \cdot 10^3}{160 \cdot 240} = 2,1 \text{ N/mm}^2$$

Tingimus, mis on toodud valemis (5.5), on täidetud:

$$\sigma_{c,90,d} \leq k_{c,90} f_{c,90,d} \rightarrow 2,1 \text{ N/mm}^2 < 2,8 \text{ N/mm}^2$$

Seega on survetugevus ristikiudu tagatud kõigil tuge del. Kasutusprotsent ristikiudu surve l (tuge del B ja D):

$$\frac{\sigma_{c,90,d}}{k_{c,90} f_{c,90,d}} \cdot 100\% = \frac{2,8}{2,8} \cdot 100\% = 100\%$$

Survekandevõime kontroll arvestades postilt tulenevat koormust

Eelnevalt kontrolliti survekandevõimet ristikiudu, kus arvestati vaid koormusega, mis kandub talale CLT paneelide kaudu. Arvesse tuleks võtta ka 2. korruse posti kaudu talale toetuvat koormust. On selge, et tala survekandevõime ristikiudu ei ole piisav, sest tugeudel B ja D on kasutusprotsent ristikiudu survel 100%.

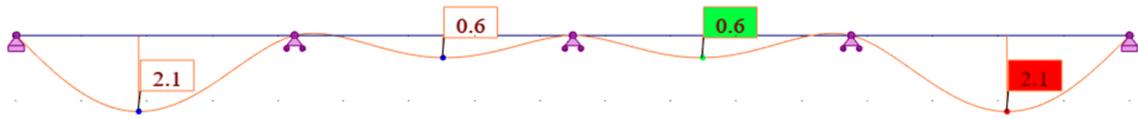
Et tala tugeudel survekandevõimet ristikiudu suurendada, on mitu võimalust. Esiteks saab kasutada terasdetaille, et koormus kanduks otse ühelt postilt teisele nii, et see talale koormust ei avaldaks. Selleks on võimalik kasutada läbi tala ulatuvaid terasvardaid koos terasest plaatidega postide otsapindadel. Paindel ja löikel tuleks sel juhul arvestada nõrgestatud ristlõikega. Teine võimalus on kasutada tala üla- ja/või alapinda kinnitatud kruvisid, mis kannavad survepinged ühelt postilt läbi tala teisele. Kolmas võimalus on kasutada selliseid terasdetaille, mis katkestavad tala ja see ei saa enam jätkuvtalana töötada. See eeldaks tala uuesti arvutamist antud olukorras neljasildelise jätkuvtala asemel nelja lihttalana.

Käesolevas töös otsustatakse tala survekandevõimet ristikiudu suurendada kruvide kasutamisega tugeudel. Selleks tuleks leida kruvide arv, läbimõõt ja pikkus ning need posti alla paigutada, et ülemise posti kaudu rakenduv koormus jõuaks otse alumise postini. Tuleb kontrollida, et kruvide nõtkekandevõime puidu keskkonnas oleks piisav ja et kruvide keermed peaksid tekkivale survejõule vastu ehk kruvipeasid ei surutaks puidu sisse. Nimetatud arvutusi käesolevas töös läbi ei tehta, sest see oleks liiga mahukas ja keskenduks pigem terase kui puidu arvutamisele. Et sõlmejoonisel saaks postid ja tala siiski kuidagi ühendada, tehti ilma teooriasse pikemalt süvenemata kiire esialgne arvutus arvutiprogrammi SFS Timber Work Software EC5 kasutades. Ilmnes, et antud olukorras sobivad survejõudusid üle kandma tala alumises pinnas 8 WR-T täiskeermega kruvi pikkusega 500 mm ja läbimõõduga 13 mm ning ülemises pinnas 8 WR-T täiskeermega kruvi pikkusega 350 mm ja läbimõõduga 9 mm. Postide otstesse kinnitatakse 10 mm paksused terasplaadid.

5.3.6. Läbipainded

Neljasildelise jätkuvtala läbipainete arvutamiseks lihtsustatud meetodid puuduvad. Kuna käesoleva lõputöö eesmärk ei ole ehitusmehaanikasse nii süvitsi minna, siis leiti tala läbipainded programmiga Autodesk Robot Structural Analysis Professional. Tala

deformeerunud kuju koos lõpliku läbipainde maksimaalsete väärtustega sildeavades on toodud Joonisel 5.3.



Joonis 5.3. Tala lõplik läbipaine (ühikud – mm)

Jooniselt 5.3 on näha, et tala maksimaalne lõplik läbipaine on 2,1 mm. See peab jääma väiksemaks Eurokoodeksi rahvuslikus lisa toodud väärtusest, mis on 1/300 sildeavast [20]. See teeb antud olukorras $w_{\text{fin,max}} = 4250/300 = 14 \text{ mm} > 2,1 \text{ mm}$. Seega on tala lõpliku läbipainde kasutusprotsent:

$$\frac{w_{\text{fin,max}}}{w_{\text{fin}}} \cdot 100\% = \frac{2,1}{14} \cdot 100\% = 15\%$$

5.4. Liimpuidust postide arvutus

5.4.1. Posti mõõtmete valik

Et tala oleks võimalikult mugav posti peale toetada, valiti posti üheks mõõtmeks tala laiuse järgi 240 mm. Teise mõõtme leidmise aluseks võeti esmalt tala survekandevõime ristikiudu tugeudel B ja D. Teades, et jõu ja pindala jagatis annab pinge, ja võttes survepingeks tala survetugevuse, leitakse vajalik kontaktpikkus ehk posti teine mõõt:

$$\sigma_{c,90,d} = \frac{F_{c,90,d}}{(l + 60) \cdot b} \rightarrow l \geq \frac{F_{c,90,d}}{\sigma_{c,90,d} \cdot b} - 60 \geq \frac{229,05 \cdot 10^3}{2,8 \cdot 240} - 60 \geq 280 \text{ mm}$$

Teine kriteerium leidmaks posti teist mõõdet on saledus. Puitkonstruktsioonide õpik annab vanemate normide põhjal postide maksimaalseks piirsaleduseks 120 [18]. Selle kriteeriumi järgi leitakse posti teise mõõtme minimaalne väärtus, mida võrreldakse eelnevalt leitud 280 mm-ga.

Saleduse nõude täitmiseks leitakse valemi (5.18) põhjal inertsiraadius i [18].

$$\lambda = \frac{l_{\text{ef}}}{i} \rightarrow i = \frac{l_{\text{ef}}}{\lambda}, \quad (5.18)$$

kus l_{ef} – elemendi arvutus pikkus, mm,
 λ – elemendi saledus.

Posti pikkus on leitud Joonisel 4.3 (peatükis 4.4.1, lk 34) toodud skeemi abil. Võttes põranda tasapindade kõrguste vahest maha vahelae paksuse ja tala kõrguse, saadakse posti pikkuseks 3660 mm. Kuna post on kinnitatud mõlemast otsast liigendiga, on selle arvutus pikkus võrdne selle pikkusega: $l_{ef} = l = 3660 \text{ mm}$ [18].

Inertsiraadiuseks tuleb:

$$i = \frac{3660}{120} = 30,5 \text{ mm}$$

On teada [18], et ruutjuur inertsimomendi ja pindala jagatisest annab samuti inertsiraadiuse. Kirjutades inertsimomendi ja pindala valemid välja ja avaldades sealt posti kõrgus h , saadakse valem (5.19).

$$i = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{b \cdot \frac{h^3}{12}}{b \cdot h}} = \sqrt{\frac{h^2}{12}} \rightarrow h = \sqrt{12 \cdot i^2} \quad (5.19)$$

Et saleduse nõue oleks täidetud, on ristlõike minimaalne teine mõõt valemi (5.19) järgi:

$$h \geq \sqrt{12 \cdot 30,5^2} \geq 106 \text{ mm}$$

Posti teine mõõt, mis leiti tala ristikiudu survekandevõime kriteeriumi alusel, vastab ka saleduse nõudele: $h = 280 \text{ mm} > 106 \text{ mm}$.

Eelneva põhjal otsustatakse teha post mõõtmetega 280 x 240 x 3660 mm. Järgnevalt kontrollitakse, kas juba kontrollitud kriteeriume täitev 1. korruse post leitud mõõtmetega täidab ka postile esitatud muid kandevõime kriteeriume.

5.4.2. Tsentrilise surve kontroll

Liimpuidu GL28h arvutuslik survetugevus pikikiudu:

$$f_{c,0,d} = k_{\text{mod}} \cdot \frac{f_{c,0,k}}{\gamma_M} = 0,8 \cdot \frac{28}{1,25} = 17,92 \text{ N/mm}^2$$

Arvutuslik survejõud $F_d = 581,40 \text{ kN}$ tekitab ristlõikes arvutusliku survepinge:

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{F_d}{A} = \frac{581,40 \cdot 10^3}{280 \cdot 240} = 8,65 \text{ N/mm}^2$$

Survekandevõime on tagatud siis, kui maksimaalne survepinge jääb väiksemaks materjali tugevusest:

$$\sigma_{c,0,d} < f_{c,0,d} \rightarrow 8,65 \text{ N/mm}^2 < 17,92 \text{ N/mm}^2$$

Survekandevõime on piisav, seega on kasutusprotsent:

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,g,d}} \cdot 100\% = \frac{8,65}{17,92} \cdot 100\% = 48,3\%$$

5.4.3. Stabiilsuse kontroll

Tegemist on ristkülikulise ristlõikega postiga, mille kinnitustingimused on mõlemas suunas samad. Seetõttu võib nõtkumine toimuda ümber nõrgema ehk z-telje. Sellest lähtuvalt leitakse stabiilsuse kontrolliks vajalikud ristlõike parameetrid.

Pindala:

$$A = b \cdot h = 280 \cdot 240 = 67200 \text{ mm}^2$$

Inertsimoment:

$$I_z = \frac{h \cdot b^3}{12} = \frac{280 \cdot 240^3}{12} = 32,26 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$$

Inertsiraadius:

$$i_z = \sqrt{\frac{I_z}{A}} = \sqrt{\frac{32,26 \cdot 10^7}{67200}} = 69,3 \text{ mm}$$

Saledus:

$$\lambda_z = \frac{l_{ef}}{i_z} = \frac{3660}{69,3} = 52,8$$

Stabiilsuse säilitamise jaoks on vaja täita valemis (5.20) toodud tingimus. [20]

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad (5.20)$$

Antud olukorras tingimus lihtsustub, sest postile mõjub vaid tsentreeritud survejõud ilma paindemomentideta. Täidetud peab olema valemis (5.21) toodud tingimus.

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} f_{c,0,d}} \leq 1 \quad (5.21)$$

Nõtketegur $k_{c,z}$ leitakse valemiga (5.22), tegur k_z valemiga (5.23) ja suhteline saledus $\lambda_{rel,z}$ valemiga (5.24). [20]

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} \quad (5.22)$$

$$k_z = 0,5 \cdot (1 + \beta_c \cdot [\lambda_{\text{rel},z} - 0,3] + \lambda_{\text{rel},z}^2), \quad (5.23)$$

kus β_c – elemendi sirgsust arvestav tegur.

$$\lambda_{\text{rel},z} = \frac{\lambda_z}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,g,05}}} \quad (5.24)$$

Esmalt leitakse suhteline saledus valemi (5.24) järgi:

$$\lambda_{\text{rel},z} = \frac{52,8}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{28}{10500}} = 0,868$$

Seejärel leitakse tegur k_z valemiga (5.23), kus tegur β_c võetakse Eurokoodeksi [20] kohaselt liimpuidu korral 0,1.

$$k_z = 0,5 \cdot (1 + \beta_c \cdot [\lambda_{\text{rel},z} - 0,3] + \lambda_{\text{rel},z}^2) = 0,5 \cdot (1 + 0,1 \cdot [0,868 - 0,3] + 0,868^2) = 0,905$$

Viimaks leitakse nõtketegur $k_{c,z}$ valemi (5.22) järgi:

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{\text{rel},z}^2}} = \frac{1}{0,905 + \sqrt{0,905^2 - 0,868^2}} = 0,861$$

Kontrollitakse tingimust valemis (5.21):

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} f_{c,0,d}} = \frac{8,65}{0,861 \cdot 17,92} = 0,561 < 1$$

Posti stabiilsus on tagatud.

6. KAUPLUSE VAHELAE TULEPÜSIVUS

6.1. Metoodika

Konstruksiooni tulepüsivuse leidmiseks kasutatakse efektiivristlõikemeetodit, mille puhul vähendatakse elemendi ristlõike mõõtmeid efektiivse söestumissügavuse võrra, mis leitakse valemiga (6.1). Selle meetodi korral tugevus- ja jäikusomadusi ei vähendata. [18]

$$d_{ef} = d_{char} + k_0 d_0, \quad (6.1)$$

kus d_{char} – arvutuslik söestumissügavus, mm,
 k_0 – nulltugevusega kihi kasvu arvestav tegur,
 d_0 – nulltugevusega kihi paksus, standardikohaselt 7 mm.

Arvutuslik söestumissügavus leitakse valemiga (6.2), kui tegemist on ühemõõtmelise söestumisega (plaatide korral). Valemit (6.3) kasutatakse kahemõõtmelise söestumise puhul, kui tegemist on ristkülikuliste elementidega (nt talad). Viimasel juhul tuleb arvestada, et soojavoogude liitumise tõttu elemendi söestunud nurgad ümarduvad. [18]

$$d_{char,0} = \beta_0 \cdot t, \quad (6.2)$$

kus β_0 – ühemõõtmeline söestumiskiirus, mm/min,
 t – tulekahju kestus.

$$d_{char,n} = \beta_n \cdot t, \quad (6.3)$$

kus β_n – tinglik söestumiskiirus ristkülikulise ristlõike jaoks, mm/min,
 t – tulekahju kestus.

Ühemõõtmeline söestumiskiirus β_0 võetakse Eurokoodeksi [26] kohaselt liimpuidu korral 0,65 mm/min ja tinglik söestumiskiirus β_n ristkülikulise ristlõike korral 0,7 mm/min. Ristkihtpuidust laepaneeli söestumiskiirus võetakse Stora Enso CLT paneelide tulepüsivuse juhendmaterjali järgi [27]. Kõige tulepoolsem kiht söestub kiirusega 0,65 mm/min, kuid kui see täielikult söestub ja kukub paneeli küljest alla, jõuab tuli järgmise kihini, mille esimesed 25 mm söestuvad kiirusega 1,3 mm/min ja ülejäänud osa kihist kiirusega 0,65 mm/min.

Valemis (6.1) esinev tegur k_0 arvestab nulltugevusega kihi ühtlast kasvamist kaitsmata elementide korral alates ajahetkest $t = 0$ min kuni $t = 20$ min. Kaitstud puidu korral arvestatakse nulltugevusega kihi kasvamist ajahetkest $t = 0$ min kuni söestumise

algusajani. Kuna antud olukorras on elemendid kaitsmata, võetakse teguri k_0 väärtuseks 1,0. [26]

Tavaolukorras kasutatakse puidu tugevus- ja jäikusomadusi, mis on esitatud 5-protsentiilina, kuid Eurokoodeksi kohaselt [26] tuleb need tulekahju olukorras esitada 20-protsentiilina ehk puidu arvutustugevust ja jäikusomadusi suurendatakse. Puidu arvutustugevuse leidmiseks tulekahju olukorras kasutatakse valemit (6.4) ning elastsusmooduli leidmiseks valemit (6.5). Kõik tulepüsivuse arvutustes kasutatavad puidu tugevus- ja jäikusomadused, mis on arvutatud valemite (6.4) ja (6.5) järgi, on koondatud Tabelisse 6.1.

$$f_{d,fi} = k_{mod,fi} \cdot \frac{k_{fi} f_k}{\gamma_{M,fi}}, \quad (6.4)$$

kus $k_{mod,fi}$ – modifikatsioonitegur tulekahju olukorras,
 k_{fi} – 20-protsentiilile teisendav tegur,
 $\gamma_{M,fi}$ – materjali osavarutegur tules.

$$E_{d,fi} = k_{mod,fi} \cdot \frac{k_{fi} E_{05}}{\gamma_{M,fi}}, \quad (6.5)$$

kus E_{05} – elastsusmooduli normväärtus, N/mm².

Valemities (6.4) ja (6.5) kasutatava teguri $k_{mod,fi}$ väärtus sõltub arvutusmeetodist. Efektivristslõikemeetodi korral võetakse $k_{mod,fi} = 1$. Tegur k_{fi} võetakse liimpuidu ja ristkihtliimpuidu korral $k_{fi} = 1,15$. Materjali osavarutegur tules $\gamma_{M,fi}$ on Eurokoodeksi 5 osa 1-2 rahvusliku lisa järgi $\gamma_{M,fi} = 1$. [26]

Tabel 6.1. Homogeense lamell-liimpuidu normtugevus- ja normjäikusomadused tulekahju olukorras, N/mm² [15]

Omadus	Tähis	GL24h	GL28h
Paindetugevus	$f_{m,g,tuli}$	27,6	32,2
Tõmbetugevus	$f_{t,0,g,tuli}$	22,1	25,6
	$f_{t,90,g,tuli}$	0,6	0,6
Survetugevus	$f_{c,0,g,tuli}$	27,6	32,2
	$f_{c,90,g,tuli}$	2,9	2,9
Nihketugevus (nihe ja vääne)	$f_{v,g,tuli}$	4,0	4,0
Külgnihketugevus	$f_{r,g,tuli}$	1,4	1,4
Elastsusmoodul	$E_{0,g,mean,tuli}$	13 225	14 490
	$E_{0,g,05,tuli}$	11 040	12 075
	$E_{90,g,mean,tuli}$	345	345
	$E_{90,g,05,tuli}$	287	287
Nihkemoodul	$G_{g,mean,tuli}$	747	747
	$G_{g,05,tuli}$	621	621
Külgnihkemoodul	$G_{r,g,mean,tuli}$	75	75
	$G_{r,g,05,tuli}$	62	62

Järgnevalt leitakse paneeli, tala ja posti söestumissügavused 60 min pikkuse tulekahju korral. Kontrollitakse elementide tules alles jäänud ristlõigete kandevõimet erakordsele koormusele.

6.2. Elementide söestumissügavused

6.2.1. Ristkihtliimpuidust paneeli söestumissügavus

Eeldatakse, et CLT paneeli valmistamisel kasutatakse nõuetekohast liimi, mis tagab liite terviklikkuse nõutud tulepüsivusaja kestel. Seega saab CLT paneeli efektiivse söestumissügavuse leida valemiga (6.1). Et teada, kui kaua peab paneeli iga kiht vastu enne, kui see täielikult söestub ja küljest ära kukub, avaldatakse valemist (6.2) valem (6.6).

$$d_{\text{char},0} = \beta_0 \cdot t \rightarrow t = \frac{d_{\text{char},0}}{\beta_0} \quad (6.6)$$

Esimese kihi tulepüsivusaeg valemi (6.6) järgi:

$$t = \frac{30}{0,65} = 46,15 \text{ min}$$

Teise kihi söestumissügavus valemi (6.6) järgi:

$$d_{\text{char},0} = 1,3 \cdot (60 - 46,15) = 18 \text{ mm}$$

Kokku tuleb söestumissügavuseks:

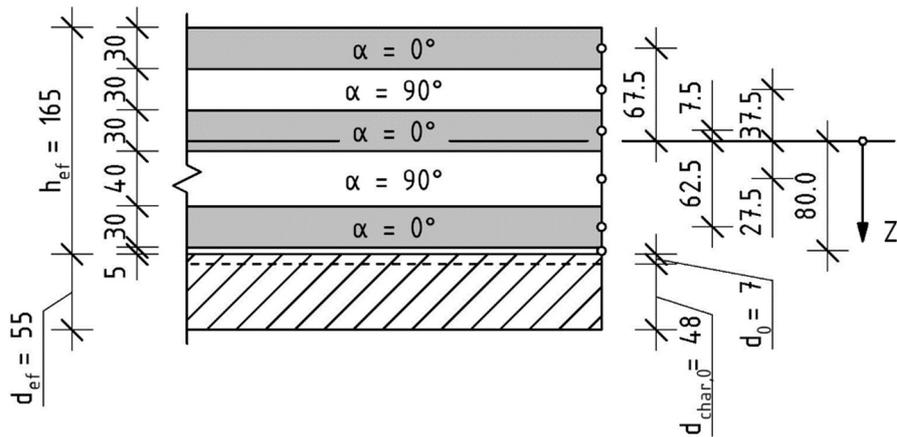
$$d_{\text{char},0} = 30 + 18 = 48 \text{ mm}$$

Seega on valemi (6.1) järgi efektiivne söestumissügavus

$$d_{\text{ef}} = 48 + 1,0 \cdot 7 = 55 \text{ mm}$$

CLT paneeli jääkristlõige tulekahju olukorras on toodud Joonisel 6.1, kus halli värviga on näha söestunud osa. Jääkristlõike kõrgus:

$$h_{\text{ef}} = h - d_{\text{ef}} = 220 - 55 = 165 \text{ mm}$$



Joonis 6.1. Lamellide paiknemine tulekahju korral

6.2.2. Liimpuidust tala söestumissügavus

Talale pääseb tuli ligi kolmest küljest – alt ja mõlemalt küljelt. Järelikult on tegemist kahemõõtmelise söestumisega ja söestumissügavuse saab leida valemiga (6.3).

$$d_{\text{char},n} = \beta_n \cdot t = 0,7 \cdot 60 = 42 \text{ mm}$$

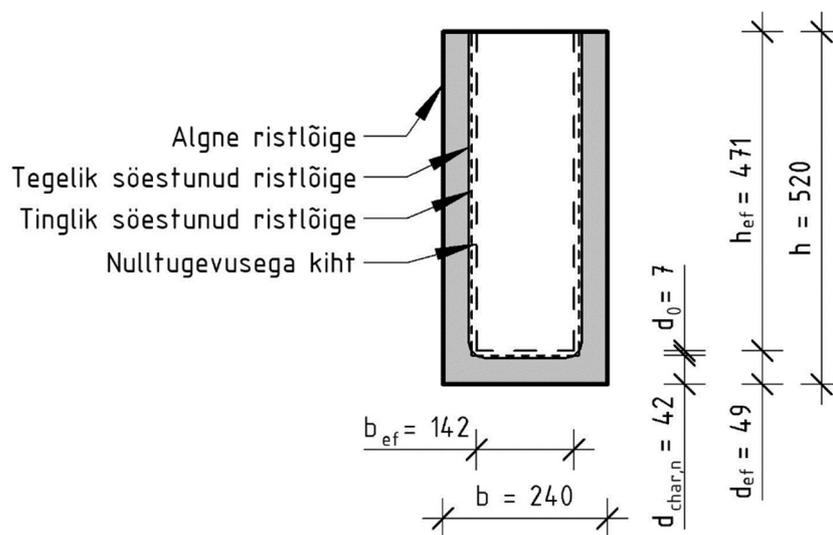
Tala efektiivne söestumissügavus valemi (6.1) järgi:

$$d_{\text{ef}} = d_{\text{char},n} + k_0 d_0 = 42 + 1,0 \cdot 7 = 49 \text{ mm}$$

Efektiivristlõike leidmise jaoks vajalikud suurused on toodud Joonisel 6.2, kus halli värviga on näha söestuv osa. Jääkrislõike mõõtmed on järgmised:

$$b_{\text{ef}} = b - 2 \cdot d_{\text{ef}} = 240 - 2 \cdot 49 = 142 \text{ mm}$$

$$h_{\text{ef}} = h - d_{\text{ef}} = 520 - 49 = 471 \text{ mm}$$



Joonis 6.2. Tala ristlõige tulekahju olukorras

6.2.3. Liimpuidust posti söestumissügavus

Postile pääseb tuli ligi igast neljast küljest, seega on tegemist kahemõõtmelise söestumisega. Söestumissügavus leitakse valemiga (6.3).

$$d_{\text{char},n} = \beta_n \cdot t = 0,7 \cdot 60 = 42 \text{ mm}$$

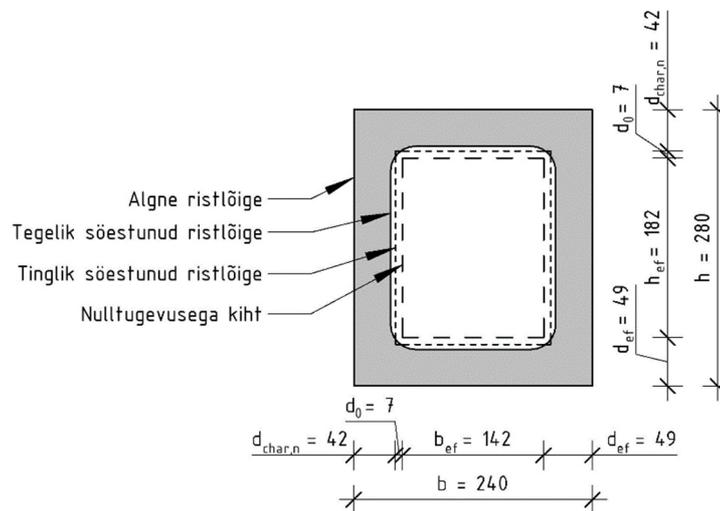
Posti efektiivne söestumissügavus valemi (6.1) järgi:

$$d_{\text{ef}} = d_{\text{char},n} + k_0 d_0 = 42 + 1,0 \cdot 7 = 49 \text{ mm}$$

Efektivristslõike leidmise jaoks vajalikud suurused on toodud Joonisel 6.3, kus halli värviga on näha söestuv osa. Jääkslõike mõõtmed on järgmised:

$$b_{\text{ef}} = b - 2 \cdot d_{\text{ef}} = 240 - 2 \cdot 49 = 142 \text{ mm}$$

$$h_{\text{ef}} = h - 2 \cdot d_{\text{ef}} = 280 - 2 \cdot 49 = 182 \text{ mm}$$



Joonis 6.3. Posti ristlõike tulekahju olukorras

6.3. Ristkihtliimpuidust paneeli tulepüsivus

6.3.1. Paindekandevõime kontroll

Maksimaalne paindemoment avas:

$$M_{\text{Ed}} = \frac{p_{\text{d,tuli}} \cdot l^2}{8} = \frac{4,21 \cdot 6^2}{8} = 18,95 \text{ kNm}$$

Efektivne paindejäikus leitakse sarnaselt tavaolukorraga valemiga (5.3):

$$(EI)_{\text{ef}} = 11040 \cdot 3 \cdot \frac{1000 \cdot 30^3}{12} + 11040 \cdot 1000 \cdot 30 \cdot (67,5^2 + 7,5^2 + 62,5^2) = 2,896 \cdot 10^{12} \text{ Nmm}^2$$

Maksimaalsed servapinged leitakse valemiga (5.2):

$$\sigma_{\max} = \frac{11040 \cdot 18,95 \cdot 10^6 \cdot 82,5}{2,896 \cdot 10^{12}} = 5,96 \text{ N/mm}^2$$

Paindetugevus on tagatud siis, kui maksimaalsed paindepinged jäävad väiksemaks materjali paindetugevusest:

$$\sigma_{\max} < f_{m,g,d} \rightarrow 5,96 \text{ N/mm}^2 < 27,6 \text{ N/mm}^2$$

Paindekandevõime tulekahjuolukorras on piisav, seega on kasutusprotsent:

$$\frac{\sigma_{\max}}{f_{m,g,d}} \cdot 100\% = \frac{5,96}{27,6} \cdot 100\% = 21,6\%$$

6.3.2. Nihkekandevõime kontroll

Nihkekandevõime pikikiudu

Maksimaalne nihkejõud toel:

$$V_{Ed} = \frac{p_{d,tulli} \cdot l}{2} = \frac{4,21 \cdot 6}{2} = 12,63 \text{ kN}$$

Maksimaalsed nihkepinged pikikiudu leitakse valemiga (5.4):

$$\tau_{v,d} = \frac{12,63 \cdot 10^3}{2,986 \cdot 10^{12} \cdot 1000} \cdot 11040 \cdot 30 \cdot 1000 \cdot (67,5 + 7,5 + 62,5) = 0,193 \text{ N/mm}^2$$

Nihkekandevõime pikikiudu on tagatud siis, kui maksimaalsed nihkepinged pikikiudu jäävad väiksemaks materjali nihketugevusest pikikiudu:

$$\tau_{v,d} < f_{v,g,d} \rightarrow 0,193 \text{ N/mm}^2 < 4,0 \text{ N/mm}^2$$

Nihkekandevõime pikikiudu tulekahjuolukorras on piisav, seega on kasutusprotsent:

$$\frac{\tau_{v,d}}{f_{v,g,d}} \cdot 100\% = \frac{0,193}{4,0} \cdot 100\% = 4,8\%$$

Nihkekandevõime ristikiudu

Vaadates ristikiudu töötavaid lamelle, leitakse maksimaalsed nihkepinged ristikiudu samuti valemiga (5.4):

$$\tau_{r,d} = \frac{12,63 \cdot 10^3}{2,986 \cdot 10^{12} \cdot 1000} \cdot 11040 \cdot 1000 \cdot 40 \cdot 80 = 0,149 \text{ N/mm}^2$$

Nihkekandevõime ristikiudu on tagatud siis, kui maksimaalsed nihkepinged ristikiudu jäävad väiksemaks materjali külgnihketugevusest:

$$\tau_{r,d} < f_{r,g,d} \rightarrow 0,149 \text{ N/mm}^2 < 1,4 \text{ N/mm}^2$$

Nihkekandevõime ristikiudu tulekahjuolukorras on piisav, seega on kasutusprotsent:

$$\frac{\tau_{r,d}}{f_{r,g,d}} \cdot 100\% = \frac{0,149}{1,4} \cdot 100\% = 10,6\%$$

6.3.3. Survekandevõime kontroll ristikiudu

Ristikiudu survekandevõimet kontrollitakse toepiirkonnas, kus maksimaalne survejõud on $F_{c,90,d,tulli} = 12,63 \text{ kN}$. Paneeli kontaktpikkus võetakse tulekahjuolukorras alles jääva tala ristlõike laiuuse $b_{ef} = 142 \text{ mm}$ järgi. Arvestades paigaldustolerantsi 20 mm , on paneeli ühe otsa kontaktpikkus:

$$l = (142 - 20)/2 = 61 \text{ mm}$$

Efektiivset kontaktpikkust ei suurendata (vt jaotist 5.2.3). Seega mõjub toel ristikiudu survepinge:

$$\sigma_{c,90,d} = \frac{F_{c,90,d}}{A_{ef}} = \frac{F_{c,90,d}}{l_{ef} \cdot b} = \frac{12,63 \cdot 10^3}{61 \cdot 1000} = 0,207 \text{ N/mm}^2$$

Teguri $k_{c,90}$ väärtuseks võetakse tagavara kasuks $1,0$. Tingimus, mis on toodud valemis (5.5), on täidetud:

$$\sigma_{c,90,d} < k_{c,90} f_{c,90,d} \rightarrow 0,207 \text{ N/mm}^2 < 2,9 \text{ N/mm}^2$$

Kasutusprotsent ristikiudu survele tulekahjuolukorras:

$$\frac{\sigma_{c,90,d}}{k_{c,90} f_{c,90,d}} \cdot 100\% = \frac{0,207}{2,9} \cdot 100\% = 7,1\%$$

6.4. Liimpuidust tala tulepüsivus

6.4.1. Paindekandevõime kontroll

Paindel võetakse arvesse elemendi suuruse mõju tugevusele teguri k_h abil. [20] Arvestades, et $h_{ef} = 471 \text{ mm}$, tuleb teguri k_h väärtuseks valemi (5.15) järgi:

$$k_h = \min \left\{ \left(\frac{600}{471} \right)^{0,1}, 1,1 \right\} = \min \left\{ 1,02, 1,1 \right\} = 1,02$$

Arvutuslik paindetugevus tulekahju olukorras on seega:

$$f_{m,g,tuli,d} = k_h \cdot f_{m,g,tuli} = 1,02 \cdot 32,2 = 32,84 \text{ N/mm}^2$$

Ristlõike tugevusmoment:

$$W_{y,tuli} = \frac{b_{ef} \cdot h_{ef}^2}{6} = \frac{142 \cdot 471^2}{6} = 5,25 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$$

Maksimaalne paindepinge elemendis:

$$\sigma_{m,g,tuli} = \frac{M_{d,tuli}}{W_{y,tuli}} = \frac{49,84 \cdot 10^6}{5,25 \cdot 10^6} = 9,49 \text{ N/mm}^2$$

Paindetugevus on tagatud siis, kui maksimaalsed paindepinged jäävad väiksemaks materjali paindetugevusest:

$$\sigma_{m,g,tuli} < f_{m,g,d,tuli} \rightarrow 9,49 \text{ N/mm}^2 < 32,84 \text{ N/mm}^2$$

Paindekandevõime tulekahjuolukorras on piisav, seega on kasutusprotsent:

$$\frac{\sigma_{m,g,tuli}}{f_{m,g,d,tuli}} \cdot 100\% = \frac{9,49}{32,84} \cdot 100\% = 28,9\%$$

6.4.2. Kiivekandevõime kontroll

Kiivekandevõime kontroll lihtsustub peatükis 5.3.3 toodud põhjusel. Sarnaselt tavaolukorraga on kiivetegur $k_{crit} = 1,0$.

Valemis (5.16) toodud tingimus on täidetud.

$$9,49 \text{ N/mm}^2 < 1,0 \cdot 32,84 \text{ N/mm}^2 = 32,84 \text{ N/mm}^2$$

6.4.3. Nihkekandevõime kontroll

Maksimaalsed nihkepinged leitakse sarnaselt tavaolukorraga valemi (5.17) lihtsustamise abil [18]:

$$\tau_{v,d,tuli} = \frac{1,5 \cdot V_d}{h \cdot b \cdot k_{cr}} = \frac{1,5 \cdot 66,53 \cdot 10^3}{471 \cdot 142 \cdot 0,67} = 2,23 \text{ N/mm}^2$$

Nihkekandevõime on tagatud siis, kui maksimaalsed nihkepinged jäävad väiksemaks materjali arvutuslikust nihketugevusest:

$$\tau_{v,d,tuli} < f_{v,g,tuli} \rightarrow 2,23 \text{ N/mm}^2 < 4,0 \text{ N/mm}^2$$

Nihkekandevõime tulekahjuolukorras on piisav, seega on kasutusprotsent:

$$\frac{\tau_{v,d,tuli}}{f_{v,g,tuli}} \cdot 100\% = \frac{2,23}{4,0} \cdot 100\% = 55,8\%$$

6.4.4. Survekandevõime kontroll ristikiudu

Sarnaselt tavaolukorraga tuleb survekandevõimet ristikiudu kontrollida kahes piirkonnas. Tuleb arvestada nii paneelidelt taladele kanduvat koormust kui ka koormust, mis mõjub talale sellele toetava posti kaudu. Teguri $k_{c,90}$ väärtuseks võetakse samuti 1,75 [20].

Liimpuidu GL28h arvutuslik survetugevus ristikiudu tulekahju olukorras:

$$k_{c,90} \cdot f_{c,90,g,tuli} = 1,75 \cdot 2,9 = 5,08 \text{ N/mm}^2$$

Survekandevõime kontroll tugeudel B ja D

Kontrollitakse talale mõjuvate koormuste tekitatud survejõudu, mis on tala toereaktsioon erakordsest koormusest tugeudel B ja D:

$$F_{c,90,tuli} = 66,53 + 58,75 = 125,28 \text{ kN}$$

Kontaktpikkus l võetakse tala toetava posti tulekahjus alles jääva laiuse järgi – $l = 182 \text{ mm}$. Efektiivset kontaktpikkust suurendatakse mõlemas suunas 30 mm võrra. Seega saadakse mõjuvaks survepingeks:

$$\sigma_{c,90,d,tuli} = \frac{F_{c,90,d}}{A_{ef}} = \frac{F_{c,90,d}}{l_{ef} \cdot b} = \frac{125,28 \cdot 10^3}{(30 + 182 + 30) \cdot 142} = 3,65 \text{ N/mm}^2$$

Tingimus, mis on toodud valemis (5.5), on tulekahjuolukorras täidetud:

$$\sigma_{c,90,d,tuli} < k_{c,90} f_{c,90,g,d,tuli} \rightarrow 3,65 \text{ N/mm}^2 < 5,08 \text{ N/mm}^2$$

Survekandevõime kontroll tugeudel A ja E

Kontrollitakse talale mõjuvate koormuste tekitatud survejõudu, mis on tala toereaktsioon erakordsest koormusest tugeudel A ja E: $F_{c,90,tuli} = 43,08 \text{ kN}$

Eeldatakse, et tala otsa toetava posti peale toetatakse teiselt poolt ka tala ning paigaldustolerants on 20 mm. Seega tuleb kontaktpikkuseks tulekahjuolukorras:

$$l = (182 - 20)/2 = 81 \text{ mm.}$$

Suurendades efektiivset kontaktpikkust ühes suunas [20], saadakse mõjuvaks survepingeks ristikiudu:

$$\sigma_{c,90,tuli} = \frac{F_{c,90,tuli}}{A_{ef}} = \frac{F_{c,90,tuli}}{l_{ef} \cdot b} = \frac{43,08 \cdot 10^3}{(81 + 30) \cdot 142} = 2,73 \text{ N/mm}^2$$

Seega on survetugevus ristikiudu tagatud kõigil tugeudel ka tulekahjuolukorras. Kasutusprotsent ristikiudu survele (tugeudel B ja D):

$$\frac{\sigma_{c,90,d,tuli}}{k_{c,90} f_{c,90,g,d,tuli}} \cdot 100\% = \frac{3,65}{5,08} \cdot 100\% = 71,9\%$$

Survekandevõime kontroll arvestades postilt tulenevat koormust

Sarnaselt tavaolukorraga arvestatakse tulekahju olukorras, et 2. korruse posti kaudu talale mõjuv survejõud kantakse üle alumise korruse postile talasse puuritavate täiskeermega kruvide abil. Sel juhul posti kaudu mõjuv jõud talas tekkivaid pingeid ei suurenda. Liidet tuleks kontrollida ka tulekahju olukorras, kuid peatükis 5.3.5 toodud põhjendusel seda käesolevas töös ei käsitleta.

6.5. Liimpuidust posti tulepüsivus

6.5.1. Tsentrilise surve kontroll

Arvutuslik survejõud $F_{d,tuli} = 331,48 \text{ kN}$ tekitab ristlõikes arvutusliku survepinge:

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{F_d}{A} = \frac{331,48 \cdot 10^3}{142 \cdot 182} = 12,83 \text{ N/mm}^2$$

Survekandevõime on tagatud siis, kui maksimaalne survepinge jääb väiksemaks materjali tugevusest:

$$\sigma_{c,0,d} < f_{c,0,d} \rightarrow 12,83 \text{ N/mm}^2 < 32,2 \text{ N/mm}^2$$

Survekandevõime tulekahjuolukorras on piisav, seega on kasutusprotsent:

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,g,d}} \cdot 100\% = \frac{12,83}{32,2} \cdot 100\% = 39,8\%$$

6.5.2. Stabiilsuse kontroll

Stabiilsuse kontroll teostatakse tavaolukorra valemide kasutades. Tegemist on riskülikulise ristlõikega postiga, mille kinnitustingimused on mõlemas suunas samad. Seetõttu võib nõtkumine toimuda ümber nõrgema ehk z-telje. Sellest lähtuvalt leitakse stabiilsuse kontrolliks vajalikud ristlõike parameetrid.

Pindala:

$$A = b \cdot h = 182 \cdot 142 = 25844 \text{ mm}^2$$

Inertsimoment:

$$I_z = \frac{b \cdot h^3}{12} = \frac{182 \cdot 142^3}{12} = 4,343 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$$

Inertsiraadius:

$$i_z = \sqrt{\frac{I_z}{A}} = \sqrt{\frac{4,343 \cdot 10^7}{25844}} = 41,0 \text{ mm}$$

Saledus:

$$\lambda_z = \frac{l_{ef}}{i_z} = \frac{3660}{41,0} = 89,3$$

Suhteline saledus leitakse valemi (5.24) järgi:

$$\lambda_{rel,z} = \frac{89,3}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{28}{10500}} = 1,468$$

Tegur k_z leitakse valemiga (5.23), kus tegur β_c võetakse Eurokoodeksi [20] kohaselt liimpuidu korral 0,1.

$$k_z = 0,5 \cdot (1 + 0,1 \cdot [1,468 - 0,3] + 1,468^2) = 1,636$$

Viimaks leitakse nõtketegur $k_{c,z}$ valemi (5.22) järgi:

$$k_{c,z} = \frac{1}{1,636 + \sqrt{1,636^2 - 1,468^2}} = 0,424$$

Kontrollitakse tingimust valemis (5.21):

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} f_{c,0,d}} = \frac{12,83}{0,424 \cdot 32,2} = 0,940 < 1$$

Posti stabiilsus on tulekahjuolukorras tagatud.

KOKKUVÕTE

Käesoleva magistritöö käigus tegeleti hoonega, mis on projekteeritud Tartu linna Kasarmu tn 3 kinnistule. Töö käigus täideti püstitatud põhieesmärgid: anti lühiülevaade hoone konstruktsioonidest, kirjeldati hoone korterite sektsiooni lahendust ruum-moodulitega ning arvatati detailselt läbi kaupluse kohale jääv vahelagi.

Töös koostati ülevaade puitkarkassil ruum-moodulitest ehitamise eripäradest. Erinevate allikate põhjal kirjeldati moodulehituse erisusi, mis tulenevad nende tootmisest ja transpordist. Lisaks vaadeldi tehnosüsteemide, jäigastamise, ehitusfüüsika ja tuleohutuse mõju moodulehitusele. Teooriaosa läbitöötamise järel jagati selle praktilise väljundina korterite sektsioon kirjeldatud põhimõtteid järgides ruum-mooduliteks ning vormistati vastavad joonised.

Suurema osa töös mahust moodustasid kaupluse vahelaega seotud arvutused. Esmalt pandi paika kaupluse vahelaega kandeskeem ja kihid. Kandvateks elementideks otsustati valida ristkihtliimpuidust paneelid, liimpuidust talad ning liimpuidust postid. Vahelaega mittekandvateks kihtideks valiti parkett, betoon koos põrandaküttetorustikuga, ehituskile ja sammumüraisolatsioon. Kaupluse poolt vaadates on puitkonstruktsioon täielikult katmata. Järgnevalt leiti konstruktsioonile mõjuvad koormused ning sooritati enimkoormatud elementide tugevusarvutused kande- ja kasutuspiirreisundis, mis teostati käsitsi ja kontrolliti arvutiprogrammidega. Viimaks kontrolliti ristlõikeid 60-minutilise tulekahju korral.

CLT paneelid arvatati Timoshenko tala meetodiga. Kandepiirreisundis ja tulekahju olukorras osutus kõige kriitilisemaks tööolukorraks paine ning kasutuspiirreisundis lõplik läbipaine. Vibratsioonidele esitatud kriteeriumide alusel on tegemist klassi II kuuluva vahelaega, mis rahuldab büroopindadele esitatud nõuded. Kõiki tööolukordi arvestades osutus sobilikuks seitsmekihiline paneel kõrgusega 220 mm ning kihtide paksustega 30-30-30-40-30-30-30 mm.

CLT paneelidelt kanduvad koormused edasi taladele, mis töötavad üle postide neljasildeliste jätkuvtaladena. Tala laius võeti maksimaalse standardse lamelli laiuse järgi 240 mm. Ristlõike kõrguse leidmise aluseks võeti tala nihkekandevõime. Selleks saadi 520 mm, mis rahuldab nii kande- kui kasutuspiirreisundile esitatud nõuded. Tulepüsivuse seisukohalt osutus kõige kriitilisemaks ristikiudu survekandevõime enimkoormatud toel.

Taladelt kanduvad koormused edasi postidele. Posti üks mõõt võeti tala laiuse järgi 240 mm, et tala sobituks posti peale kõige mugavamalt. Ristlõike teine mõõt leiti tala ristikiudu survekandevõime järgi, et posti peale toetades oleks tala toepikkus survejõu vastu võtmiseks piisav. Teiseks mõõduks saadi 280 mm. Posti enda tugevusarvutuste käigus osutus kõige kriitilisemaks posti stabiilsus tulekahju olukorras.

Koostatud lõputööd saab edasi arendada mitmes suunas. Kogu projekti saaks arendada konstruktiivseks tööprojektiks, kus on läbi lahendatud hoone kõik konstruktsioonid ning vormistatud vastavad joonised. Korterite sektsioonis saaks teha ruum-moodulite tugevusarvutused ja moodulite tootmisjoonised. Kaupluse vahelae osas saaks läbi lahendada kõik liitumised teiste konstruktsioonidega ning arvutada täpsemalt kaupluse vahelae peale jäävate büroopindade konstruktsioonid.

SUMMARY

This Master's thesis deals with a building located at Kasarmu 3 in the city of Tartu. During the work, the main aims were fulfilled: a brief overview of the building structures was given; the solution of the apartment section of the building was described using prefabricated room modules; the ceiling above the store was calculated in detail.

An overview of the distinctive properties of construction with prefabricated timber frame modules was compiled. Based on various sources, peculiarities in modular construction due to the production and transport were described. In addition, the effects of engineering systems, stiffening, building physics, and fire safety on modular construction were investigated. After working through the theoretical part, the apartment section of the building was divided into room modules following previously described principles, and the corresponding drawings were prepared.

The most extensive part of the thesis was made up of the calculations related to the store ceiling. Firstly, the load-bearing scheme and layers of the store ceiling were proposed. As load-bearing elements, CLT (cross-laminated timber) panels, glulam beams, and glulam columns were chosen. The non-load-bearing layers of the ceiling were parquet, concrete with underfloor heating pipes, construction film, and step sound insulation. From below, the wooden structure is completely uncovered. Secondly, the loads applied to the structure were found and the strength calculations of the most loaded elements in the ultimate limit state and the serviceability limit state were performed. The calculations were first made performed manually and then checked with computer programs. Lastly, cross-sections were checked in the event of a 60-minute fire.

The CLT panels were calculated by using the Timoshenko beam method. In the ultimate limit state and in fire exposure, the most critical working condition turned out to be bending, and the final deflection in the serviceability limit state. According to the criteria for vibrations, this construction belongs to class II, which satisfies the requirements for an office space. Considering all the working conditions, a seven-layer panel with a height of 220 mm and layer thicknesses of 30-30-30-40-30-30-30 mm proved to be suitable.

The loads are transferred from the panels to the beams, which act as four-span continuous beams across the columns. The width of the cross-section was taken from the maximum standard lamella width, which is 240 mm. The basis for finding the cross-sectional height was the shear strength of the beam, and it turned out that 520 mm

satisfies the requirements for both the ultimate limit state and the serviceability limit state. Concerning fire resistance, the most critical working condition was compression perpendicular to the grain.

The loads are transferred from the beams to the columns. One dimension of the column was chosen according to the width of the beam (240 mm) so that it would fit most comfortably on the column. The second dimension of the cross-section was found according to the compressive strength perpendicular to the grain of the beam so that the contact length of the beam would be sufficient to absorb the compressive force when supported by the column. The second dimension of the column was 280 mm. During strength calculations of a column, the stability of the column in fire exposure proved to be the most critical working condition.

This thesis can be further developed in several directions. The entire project could be developed into a technical design, where all the building constructions have been solved, and the corresponding drawings have been drawn up. In the apartments section, the strength calculations of the room modules and the drawings for production could be made. Regarding the store ceiling, all connections with other constructions could be solved, and the construction elements of the office area above the ceiling could be calculated in more detail.

KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

- [1] Kodumaja AS, *Ehitame ruumelementidest*. [Online] Loetud aadressil: <http://www.kodumaja.ee/et/Ehitusviis-ja-tehnoloogia/Ehitame-ruumelementidest> Kasutatud: 06.05.2022.
- [2] *Eriveo tingimused ning eriveo teostamise ja erilubade väljaandmise kord ning tee omanikule tekitatud kulutuste hüvitamise, eriloa menetlustasu ja eritasu määrad*, Riigi Teataja. [Online]. Loetud aadressil: <https://www.riigiteataja.ee/akt/110082021004> Kasutatud: 06.05.2022.
- [3] T. Gunawardena and P. Mendis, "Prefabricated Building Systems—Design and Construction," *Encyclopedia*, vol. 2, no. 1, pp. 70–95, 2022, doi: <https://doi.org/10.3390/encyclopedia2010006>
- [4] G. Tlustochowicz, „Stabilising System for Multi-Storey Beam and Post Timber Buildings”, [Doktoridissertatsioon], Department of Civil, Mining and Natural Resources Engineering, Luleå University of Technology, Luleå, Rootsi, 2011. [Online] Loetud aadressil: <http://itu.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A990624&dswid=-9475> Kasutatud: 09.05.2022.
- [5] R. Mishra and A. K. Dwivedi, "Shear Wall and Frame Interaction Terminology," *GRD Journal for Engineering* vol. 1, no. 7, pp. 78–82, 2016. [Online]. Loetud aadressil: <https://www.grdjournals.com/uploads/article/GRDJE/V01/I07/0055/GRDJEV01I070055.pdf> Kasutatud 09.05.2022 Kasutatud: 09.05.2022.
- [6] K. Ballagh, "Sound Insulation of Timber Framed Structures," *New Zealand Acoustics*, vol. 16, no. 2, pp. 22–36, 2003. [Online]. Loetud aadressil: https://www.acoustics.org.nz/sites/www.acoustics.org.nz/files/journal/pdfs/Ballagh_K_NZA2003.pdf Kasutatud: 12.05.2022.
- [7] R. Ökvist, F. Ljunggren, and A. Ågren, "Variations in sound insulation in multi-storey lightweight timber constructions," in *The 38rd International Congress and Exposition on Noise Control Engineering INTER-NOISE 2009*, Ottawa, 2009, pp. 315–323. Loetud aadressil: <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1007462/FULLTEXT01.pdf> Kasutatud: 15.05.2022.
- [8] Hendrikson & Ko OÜ, "Tartu linna välisõhus leviva keskkonnamüra vähendamise tegevuskava aastateks 2019-2023," p. 31, 2018. [Online]. Loetud aadressil: <https://www.tartu.ee/et/keskkonnamura-vahendamise-tegevuskava> Kasutatud: 01.05.2022.

- [9] T. Kalamees, "Air tightness and air leakages of new lightweight single-family detached houses in Estonia," *Building and Environment*, vol. 42, no. 6, pp. 2369–2377, 2007, doi: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2006.06.001>.
- [10] ISOVER VARIO isolatsioonisüsteem õhutihedaks ja niiskuskindlaks ehitamiseks, Saint-Gobain Ehitustooted AS, 2013. [Online]. Loetud aadressil: <https://espaak.ee/wp-content/uploads/2013/09/ISOVER-VARIO-isolatsioonis--steem.pdf> Kasutatud: 12.05.2022.
- [11] Kodumaja AS, *Tootmisprotsess tehases ja transport*. [Online] Loetud aadressil: <http://www.kodumaja.ee/et/Ehitusviis-ja-tehnoloogia/Protsess-pildis/Tootmisprotsess-tehases-ja-transport> Kasutatud: 06.05.2022.
- [12] T. Masso, (Ed.), *Ehituskonstruktoriga käsiraamat*, 4. parandatud trükk. Tallinn: EHITAME kirjastus, 2014.
- [13] *Puitfassaadide tuleohutuslahendused kuni 5-korruseliste eluhoonete renoveerimisel*, Eesti Puitmajaliit, 2021. [Online]. Loetud aadressil: <https://www.rescue.ee/files/2021-06/15.06.21-puitfassaadide-tuleohutuslahendused-kuni-5-korruseliste-eluhoonete-renoveerimisl.pdf?e079ce7548> Kasutatud: 15.05.2022.
- [14] OÜ Peetri Puit, *CLT Ristkihtpuit*. [Online] Loetud aadressil: <https://www.arcwood.ee/et/clt-ristkihtpuit> Kasutatud: 18.03.2022.
- [15] Puitkonstruktsioonid. Lamell-liimpuit ja plankliimpuit. Nõuded, EVS-EN 14080:2013, EVS. [Online]. Loetud aadressil: <https://www.evs.ee/et/evs-en-14080-2013> Kasutatud: 23.03.2022.
- [16] *Eurokoodeks. Ehituskonstruktsioonide projekteerimise alused*, EVS-EN 1990:2002+NA:2002, EVS. [Online]. Loetud aadressil: <https://www.evs.ee/et/evs-en-1990-2002+na-2002> Kasutatud: 27.02.2022.
- [17] *Eurokoodeks 1: Ehituskonstruktsioonide koormused. Osa 1-1: Üldkoormused. Mahukaalud, omakaalud, hoonete kasuskoormused*, EVS-EN 1991-1-1:2002+NA:2002, EVS. [Online]. Loetud aadressil: <https://www.evs.ee/et/evs-en-1991-1-1-2002%2Bna-2002> Kasutatud: 02.03.2022.
- [18] E.-J. Just, K. Öiger ja A. Just, *Puit- ja puidupõhised konstruktsioonid*, 2. parandatud trükk. Tallinn: TTÜ Kirjastus, 2018.
- [19] T. Bogensperger, G. Silly, and G. Schickhofer, „Comparison of Methods of Approximate Verification Procedures for Cross Laminated Timber,” *Properties, Testing and Design of Cross Laminated Timber*, pp. 432, Graz, 2012. Loetud aadressil: <https://www.cost.eu/uploads/2018/11/Properties-Testing-and-Design-of-CLT.pdf> Kasutatud: 06.03.2022.
- [20] *Eurokoodeks 5: Puitkonstruktsioonide projekteerimine. Osa 1-1: Üldist. Üldreeglid ja reeglid hoonete projekteerimiseks*, EVS-EN 1995-1-1:2005+A1+NA+A2, EVS.

- [Online]. Loetud aadressil: <https://www.evs.ee/et/evs-en-1995-1-1-2005+a1+na+a2> Kasutatud: 02.03.2022.
- [21] *The CLT Handbook. CLT Structures – facts and planning.* Swedish Wood, Stockholm, 2019. [Online]. Loetud aadressil: <https://www.woodcampus.co.uk/wp-content/uploads/2019/05/Swedish-Wood-CLT-Handbook.pdf> Kasutatud: 18.03.2022.
- [22] A. Räämet ja R. Räämet, *Ehitusmehaanika. Varraskonstruksioonide staatika*, 2. parandatud trükk. Tallinn: TTÜ Kirjastus, 2018.
- [23] H. J. Blass, P. Aune, and B. S. Choo, et al. „Serviceability limit states – Vibrations of wooden floors“ in *Timber Engineering STEP 1*, 1st ed., Centrum Hout, The Netherlands, 1995, pp. A18/3–A18/6. [Online] Loetud aadressil: https://kupdf.net/download/timber-engineering-step-1_58eeae0adc0d600b4fda9806_pdf Kasutatud: 13.04.2022
- [24] W. Schirén and T. Swahn, „Vibrations in Residential Timber Floors“, [Magistritöö], Faculty of Technology, Linnaeus University, Växjö, Rootsi, 2019. [Online] Loetud aadressil: <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1354527/FULLTEXT01.pdf> Kasutatud: 29.04.2022.
- [25] OÜ Peetri Puit, *Liimpuit.* [Online] Loetud aadressil: <https://www.arcwood.ee/et/liimpuit> Kasutatud: 12.04.2022
- [26] Eurokoodeks 5: Puitkonstruktsioonide projekteerimine. Osa 1-2: Üldreeglid. Tulepüsisuuarvutus, EVS-EN 1995-1-2:2005+NA:2006, EVS. [Online]. Loetud aadressil: <https://www.evs.ee/et/evs-en-1995-1-2-2005+na-2006> Kasutatud 30.03.2022.
- [27] CLT - Cross Laminated Timber. Fire Protection, Version 01/2016 AG, Stora Enso AB, 2016. [Online]. Loetud aadressil: <https://www.cltsk.info/wp-content/uploads/2019/10/CLT-Documentation-on-fire-protection-EN.pdf> Kasutatud: 31.03.2022.

Lisa 1 CLT paneelide kontrollarvutus programmiga CLT Designer



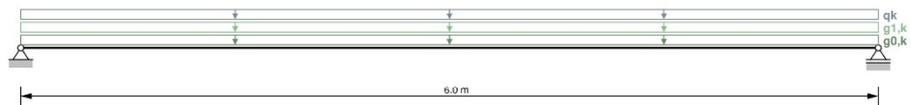
Detailed results

1 General

Service class 1

2 Structural system

Single span girder



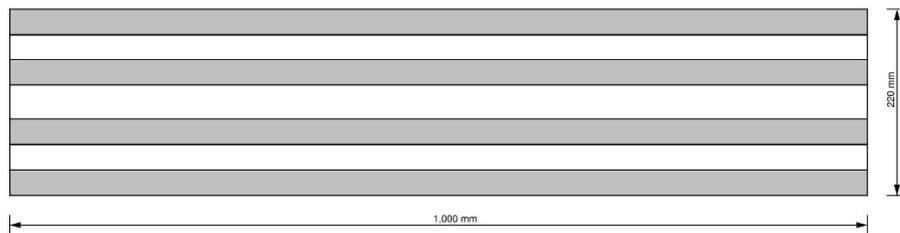
2.1 Supports

Support	x	Width
A	0.0 m	0.11 m
B	6.0 m	0.11 m

3 Cross section

User-defined cross section

7 layers (thickness: 220 mm)



3.1 Layer composition

Layer	Thickness	Orientation	Material
# 1	30 mm	0	OMA_GL24h (User-defined)
# 2	30 mm	90	OMA_GL24h (User-defined)

# 3	30 mm	0	OMA_GL24h (User-defined)
# 4	40 mm	90	OMA_GL24h (User-defined)
# 5	30 mm	0	OMA_GL24h (User-defined)
# 6	30 mm	90	OMA_GL24h (User-defined)
# 7	30 mm	0	OMA_GL24h (User-defined)

Orientation 0 = top layer longitudinal to span; Orientation 90 = top layer perpendicular to span

3.2 Material parameters

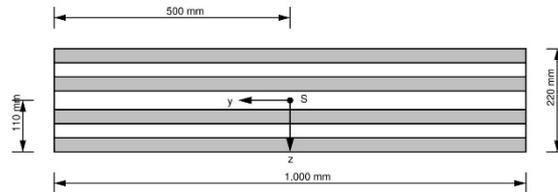
Partial safety factor $\gamma_M = 1.25$

System factor for CLT $k_{sys} = 1.1$

Material parameters for	OMA_GL24h (User-defined)							
bending strength [N/mm ²]	$k_{sys} \cdot 24.0$							
tensile strength parallel [N/mm ²]	19.2	19.2	19.2	19.2	19.2	19.2	19.2	19.2
tensile strength perpendicular [N/mm ²]	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
compressive strength parallel [N/mm ²]	24.0	24.0	24.0	24.0	24.0	24.0	24.0	24.0
compressive strength perpendicular [N/mm ²]	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
shear strength [N/mm ²]	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5
rolling shear strength [N/mm ²]	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
Youngs modulus parallel [N/mm ²]	11,500.0	11,500.0	11,500.0	11,500.0	11,500.0	11,500.0	11,500.0	11,500.0
5%-quantile from Youngs modulus parallel [N/mm ²]	9,600.0	9,600.0	9,600.0	9,600.0	9,600.0	9,600.0	9,600.0	9,600.0
Youngs modulus perpendicular [N/mm ²]	300.0	300.0	300.0	300.0	300.0	300.0	300.0	300.0
shear modulus [N/mm ²]	650.0	650.0	650.0	650.0	650.0	650.0	650.0	650.0
rolling shear modulus [N/mm ²]	65.0	65.0	65.0	65.0	65.0	65.0	65.0	65.0
density [kg/m ³]	385.0	385.0	385.0	385.0	385.0	385.0	385.0	385.0
density mean value [kg/m ³]	420.0	420.0	420.0	420.0	420.0	420.0	420.0	420.0

3.3 Cross-sectional values

EA_{ef}	1.41E9 N
EI_{ef}	7.255E12 N·mm ²
GA_{ef}	2.131E7 N



4 Loads

Field	$g_{0,k}$	$g_{1,k}$	q_k	Category	s_k	Altitude/Region	w_k
1	0.9064 kN/m	1.8 kN/m ²	3 kN/m ²	B			

Partial safety factors:

$\gamma_G = 1.2$

$\gamma_Q = 1.5$

Load position:

Plate weight: Total

Permanent loads: Total

Imposed loads: Field-by-field

Snow: Field-by-field

Wind: Total

Combinations:

Combination factors: according to EN

Combinations of distributed and concentrated loads:

q_k and Q_k will be considered as one load group

s and S will be considered as one load group

w_k and W_k will be considered as one load group

5 Specification concerning structural fire design

Fire duration: 60 minutes

Side exposed to fire: below

Use of an adhesive with increased fire resistance

Without gaps or with bonded edges

$k_{fire} = 1.15$

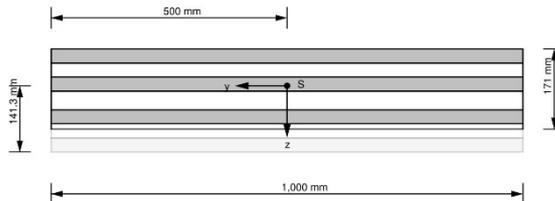
d_0 according to EN 1995-1-2:2011

$d_0 = 7$ mm

Partial safety factor $\gamma_{M,fi} = 1.0$
 Charring rate $\beta_0 = 0.70$ mm/min
 minimum residual layer thickness $t_{fi,min} = 6$ mm

5.1 Cross-sectional values in case of fire

EA_{ef}	1.059E9 N
EI_{ef}	3.048E12 N·mm ²
GA_{ef}	1.531E7 N



6 Information concerning vibrations

high requirements
 Damping factor: 2.5 %
 Support: 4-sided
 Width perpendicular to the main load bearing direction: 17.0 m

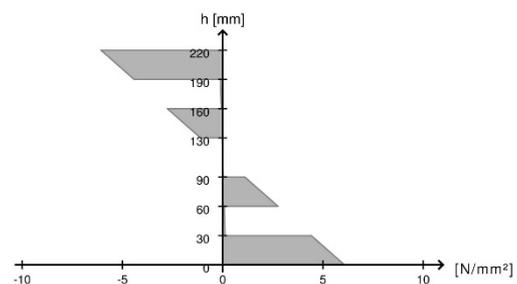
7 Results

Referenced standards: EN 1995-1-1:2009
 Underlying calculation method: Timoshenko

7.1 ULS

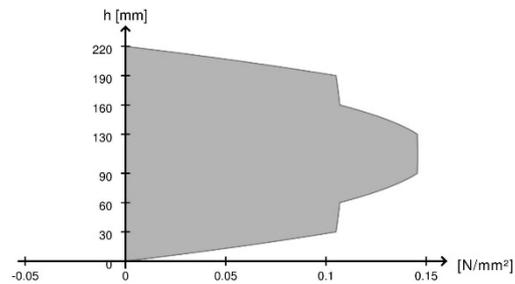
7.1.1 Bending

Utilisation ratio	36.0 %
k_{mod}	0.8
at x	3.0 m
E_k	2
Fundamental combination	$1.20 \cdot q_{0,k} +$ $1.20 \cdot q_{1,k} +$ $1.50 \cdot 1.00 \cdot q_k$



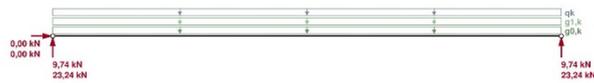
7.1.2 Shear

Utilisation ratio	19.0 %
k_{mod}	0.8
at x	0.0 m
Ek	2
Fundamental combination	$1.20 \cdot g_{0,k} + 1.20 \cdot g_{1,k} + 1.50 \cdot 1.00 \cdot q_k$



7.1.3 Bearing pressure

Utilisation ratio	10.4 %
k_{mod}	0.8
at x	0.0 m
Ek	2
Fundamental combination	$1.20 \cdot g_{0,k} + 1.20 \cdot g_{1,k} + 1.50 \cdot 1.00 \cdot q_k$



7.2 SLS

7.2.1 Deflection

Limit values according to EN 1995-1-1

Instantaneous deformation $w_{inst, t=0} = l/400$ (14.5 mm, 96.5 %)

Final deformation $w_{net, fin, t=inf} = l/300$ (20.0 mm, 99.8 %)

Final deformation $w_{fin, t=inf} = l/200$ (20.0 mm, 66.6 %)

Utilisation ratio	99.8 %
w_{max}	20.0 mm
k_{def}	0.6
at x	3.0 m
Ek	10
Final deformation $w_{net, fin, t=inf} = l/300$	



7.2.2 Vibration

The verification is only valid for residential ceilings!

7.2.2.1 Verification corresponding to EN 1995-1-1

Eigenfrequency: $f_1 = 6.8 \text{ Hz} < 8.0 \text{ Hz}$

Stiffness: $w_{1kN} = 0.557 \text{ mm} < 1.00 \text{ mm}$

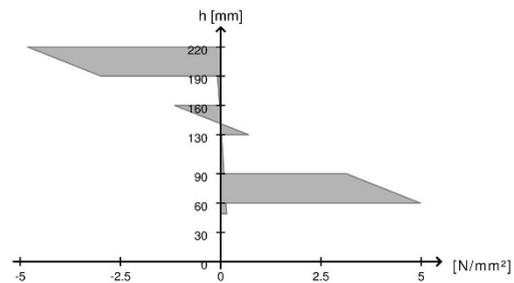
Velocity/Unit impuls: $v = 0.765 \text{ mm/s} < 16.28 \text{ mm/s}$

---> More accurate vibration verification is needed! (117.7 %)

7.3 ULS in case of fire

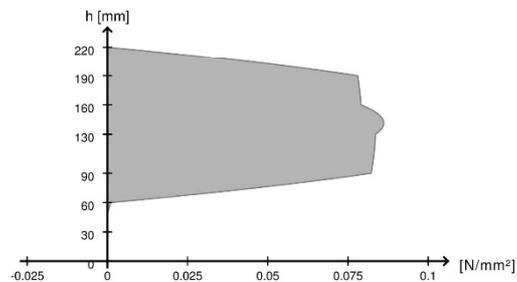
7.3.1 Bending

Utilisation ratio	16.4 %
k_{mod}	1.0
at x	3.0 m
E_k	6
Accidental combination	$g_{0,k} + g_{1,k} + 0.30 \cdot q_k$



7.3.2 Shear

Utilisation ratio	6.1 %
k_{mod}	1.0
at x	0.0 m
E_k	6
Accidental combination	$g_{0,k} + g_{1,k} + 0.30 \cdot q_k$



8 Appendix

**Lisa 2 Liimpuidust neljasildelise jätkuvtala kontrollarvutus programmiga
Autodesk Robot Structural Analysis Professional**

TIMBER STRUCTURE CALCULATIONS

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

CODE GROUP:
MEMBER: 1 Tala_1 **POINT:** 3 **COORDINATE:** x = 1.00 L = 4.25 m

LOADS:
Governing Load Case: 3 ULS 1*1.20+2*1.50

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 240x520

ht=52.0 cm	A _y =832.00 cm ²	A _z =832.00 cm ²	A _x =1248.00 cm ²
bf=24.0 cm	I _y =281216.00 cm ⁴	I _z =59904.00 cm ⁴	I _x =170070.9 cm ⁴
tw=12.0 cm	W _y =10816.00 cm ³	W _z =4992.00 cm ³	
tf=12.0 cm			

STRESSES

Sig_{m,y,d} = MY/W_y = -91.22/10816.00 = -8.43 MPa

Tau_{z,d} = 1.5*-121.63/1248.00 = -1.46 MPa

ALLOWABLE STRESSES

f_{m,y,d} = 18.18 MPa

f_{v,d} = 2.24 MPa

Factors and additional parameters

k_{h,y} = 1.01 k_{mod} = 0.80 K_{sys} = 1.00 k_{cr} = 0.67



LATERAL BUCKLING PARAMETERS:

BUCKLING PARAMETERS:



About Y axis:



About Z axis:

VERIFICATION FORMULAS:

Sig_{m,y,d}/f_{m,y,d} = 8.43/18.18 = 0.46 < 1.00 (6.11)

(Tau_{z,d}/k_{cr})/f_{v,d} = (1.46/0.67)/2.24 = 0.97 < 1.00 (6.13)

LIMIT DISPLACEMENTS



Deflections (LOCAL SYSTEM):

u_{fin,y} = 0.0 mm < u_{fin,max,y} = L/200.00 = 21.2 mm Verified

Governing load case: (1+0.6)*1 + (1+0.3*0.6)*2
u_{fin,z} = 2.8 mm < u_{fin,max,z} = L/200.00 = 21.2 mm Verified

Governing load case: (1+0.6)*1 + (1+0.3*0.6)*2 u_{inst,y} = 0.0 mm < u_{inst,max,y} = L/400.00 = 10.6 mm Verified

Governing load case: 1*1 + 1*2
u_{inst,z} = 2.0 mm < u_{inst,max,z} = L/400.00 = 10.6 mm Verified

Governing load case: 1*1 + 1*2



Displacements (GLOBAL SYSTEM):

Section OK !!!

TIMBER STRUCTURE CALCULATIONS

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

ANALYSIS TYPE: Member Verification

CODE GROUP:

MEMBER: 2 Tala_2

POINT: 1

COORDINATE: x = 0.00 L = 0.00 m

LOADS:

Governing Load Case: 3 ULS 1*1.20+2*1.50

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

MPa

E_{0,05} = 10500.00 MPa

G_{moyen} = 650.00 MPa

Service class: 1

Beta_c = 0.10



SECTION PARAMETERS: GL28h 240x520

ht=52.0 cm

bf=24.0 cm

tw=12.0 cm

tf=12.0 cm

A_y=832.00 cm²

I_y=281216.00 cm⁴

W_y=10816.00 cm³

A_z=832.00 cm²

I_z=59904.00 cm⁴

W_z=4992.00 cm³

A_x=1248.00 cm²

I_x=170070.9 cm⁴

STRESSES

Sig_{m,y,d} = MY/W_y = -91.22/10816.00 = -8.43 MPa

Tau_{z,d} = 1.5*107.32/1248.00 = 1.29 MPa

ALLOWABLE STRESSES

f_{m,y,d} = 18.18 MPa

f_{v,d} = 2.24 MPa

Factors and additional parameters

kh_y = 1.01

k_{mod} = 0.80

K_{sys} = 1.00

k_{cr} = 0.67



LATERAL BUCKLING PARAMETERS:

BUCKLING PARAMETERS:



About Y axis:



About Z axis:

VERIFICATION FORMULAS:

Sig_{m,y,d}/f_{m,y,d} = 8.43/18.18 = 0.46 < 1.00 (6.11)

(Tau_{z,d}/k_{cr})/f_{v,d} = (1.29/0.67)/2.24 = 0.86 < 1.00 (6.13)

LIMIT DISPLACEMENTS



Deflections (LOCAL SYSTEM):

u_{fin,y} = 0.0 mm < u_{fin,max,y} = L/200.00 = 21.2 mm

Verified

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

u_{fin,z} = 0.8 mm < u_{fin,max,z} = L/200.00 = 21.2 mm

Verified

Governing load case: (1+0.6)*1 + (1+0.3*0.6)*2 u_{inst,y} = 0.0 mm < u_{inst,max,y} = L/400.00 = 10.6 mm

Verified

Governing load case: 1*1 + 1*2

$u_{inst,z} = 0.6 \text{ mm} < u_{inst,max,z} = L/400.00 = 10.6 \text{ mm}$

Verified

Governing load case: 1*1 + 1*2



Displacements (GLOBAL SYSTEM):

Section OK !!!

TIMBER STRUCTURE CALCULATIONS

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

ANALYSIS TYPE: Member Verification

CODE GROUP:

MEMBER: 3 Tala_3

POINT: 3

COORDINATE: $x = 1.00 \text{ L} = 4.25 \text{ m}$

LOADS:

Governing Load Case: 3 ULS 1*1.20+2*1.50

MATERIAL GL28h

$g_M = 1.25$

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

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

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

$f_{v,k} = 3.50 \text{ MPa}$

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

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

$E_{0,moyen} = 12600.00$

MPa

$E_{0,05} = 10500.00 \text{ MPa}$

$G_{moyen} = 650.00 \text{ MPa}$

Service class: 1

Beta c = 0.10



SECTION PARAMETERS: GL28h 240x520

$h_t = 52.0 \text{ cm}$

$b_f = 24.0 \text{ cm}$

$A_y = 832.00 \text{ cm}^2$

$A_z = 832.00 \text{ cm}^2$

$A_x = 1248.00 \text{ cm}^2$

$t_w = 12.0 \text{ cm}$

$I_y = 281216.00 \text{ cm}^4$

$I_z = 59904.00 \text{ cm}^4$

$I_x = 170070.9 \text{ cm}^4$

$t_f = 12.0 \text{ cm}$

$W_y = 10816.00 \text{ cm}^3$

$W_z = 4992.00 \text{ cm}^3$

STRESSES

$\text{Sig}_{m,y,d} = M_Y/W_y = -91.22/10816.00 = -8.43 \text{ MPa}$

ALLOWABLE STRESSES

$f_{m,y,d} = 18.18 \text{ MPa}$

$f_{v,d} = 2.24 \text{ MPa}$

$\text{Tau}_{z,d} = 1.5 * -107.32/1248.00 = -1.29 \text{ MPa}$

Factors and additional parameters

$k_{h_y} = 1.01$

$k_{mod} = 0.80$

$K_{sys} = 1.00$

$k_{cr} = 0.67$



LATERAL BUCKLING PARAMETERS:

BUCKLING PARAMETERS:



About Y axis:



About Z axis:

VERIFICATION FORMULAS:

$\text{Sig}_{m,y,d}/f_{m,y,d} = 8.43/18.18 = 0.46 < 1.00 \quad (6.11)$

$(\text{Tau}_{z,d}/k_{cr})/f_{v,d} = (1.29/0.67)/2.24 = 0.86 < 1.00 \quad (6.13)$

LIMIT DISPLACEMENTS



Deflections (LOCAL SYSTEM):

$u_{fin,y} = 0.0 \text{ mm} < u_{fin,max,y} = L/200.00 = 21.2 \text{ mm}$

Verified

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

$u_{fin,z} = 0.8 \text{ mm} < u_{fin,max,z} = L/200.00 = 21.2 \text{ mm}$

Verified

Governing load case: $(1+0.6)*1 + (1+0.3*0.6)*2$ $u_{inst,y} = 0.0 \text{ mm} < u_{inst,max,y} = L/400.00 = 10.6 \text{ mm}$
Verified

Governing load case: $1*1 + 1*2$

$u_{inst,z} = 0.6 \text{ mm} < u_{inst,max,z} = L/400.00 = 10.6 \text{ mm}$

Verified

Governing load case: $1*1 + 1*2$



Displacements (GLOBAL SYSTEM):

Section OK !!!

TIMBER STRUCTURE CALCULATIONS

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

ANALYSIS TYPE: Member Verification

CODE GROUP:

MEMBER: 4 Tala_4

POINT: 1

COORDINATE: x = 0.00 L = 0.00 m

LOADS:

Governing Load Case: 3 ULS $1*1.20+2*1.50$

MATERIAL GL28h

$g_M = 1.25$

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

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

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

$f_{v,k} = 3.50 \text{ MPa}$

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

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

$E_{0,moyen} = 12600.00$

MPa

$E_{0,05} = 10500.00 \text{ MPa}$

$G_{moyen} = 650.00 \text{ MPa}$

Service class: 1

Beta c = 0.10



SECTION PARAMETERS: GL28h 240x520

$h_t = 52.0 \text{ cm}$

$b_f = 24.0 \text{ cm}$

$t_w = 12.0 \text{ cm}$

$t_f = 12.0 \text{ cm}$

$A_y = 832.00 \text{ cm}^2$

$I_y = 281216.00 \text{ cm}^4$

$W_y = 10816.00 \text{ cm}^3$

$A_z = 832.00 \text{ cm}^2$

$I_z = 59904.00 \text{ cm}^4$

$W_z = 4992.00 \text{ cm}^3$

$A_x = 1248.00 \text{ cm}^2$

$I_x = 170070.9 \text{ cm}^4$

STRESSES

$\text{Sig}_{m,y,d} = MY/W_y = -91.22/10816.00 = -8.43 \text{ MPa}$

$\text{Tau}_{z,d} = 1.5*121.63/1248.00 = 1.46 \text{ MPa}$

ALLOWABLE STRESSES

$f_{m,y,d} = 18.18 \text{ MPa}$

$f_{v,d} = 2.24 \text{ MPa}$

Factors and additional parameters

$k_{h,y} = 1.01$

$k_{mod} = 0.80$

$K_{sys} = 1.00$

$k_{cr} = 0.67$



LATERAL BUCKLING PARAMETERS:

BUCKLING PARAMETERS:



About Y axis:



About Z axis:

VERIFICATION FORMULAS:

$\text{Sig}_{m,y,d}/f_{m,y,d} = 8.43/18.18 = 0.46 < 1.00$ (6.11)

$(\text{Tau}_{z,d}/k_{cr})/f_{v,d} = (1.46/0.67)/2.24 = 0.97 < 1.00$ (6.13)

LIMIT DISPLACEMENTS



Deflections (LOCAL SYSTEM):

$u_{fin,y} = 0.0 \text{ mm} < u_{fin,max,y} = L/200.00 = 21.2 \text{ mm}$

Verified

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

$u_{fin,z} = 2.8 \text{ mm} < u_{fin,max,z} = L/200.00 = 21.2 \text{ mm}$

Verified

Governing load case: $(1+0.6)*1 + (1+0.3*0.6)*2$ $u_{inst,y} = 0.0 \text{ mm} < u_{inst,max,y} = L/400.00 = 10.6 \text{ mm}$
Verified

Governing load case: $1*1 + 1*2$

$u_{inst,z} = 2.0 \text{ mm} < u_{inst,max,z} = L/400.00 = 10.6 \text{ mm}$

Verified

Governing load case: $1*1 + 1*2$



Displacements (GLOBAL SYSTEM):

Section OK !!!

TIMBER STRUCTURE CALCULATIONS

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

ANALYSIS TYPE: Member Verification

CODE GROUP:

MEMBER: 1 Post_1

POINT: 3

COORDINATE: x = 1.00 L = 3.60 m

LOADS:

Governing Load Case: 3 ULS 1*1.20+2*1.50+5*0.75

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

MPa

E_{0,05} = 10500.00 MPa

G_{moyen} = 650.00 MPa

Service class: 1

Beta_c = 0.10



SECTION PARAMETERS: GL28h 240x280

ht=28.0 cm

bf=24.0 cm

tw=12.0 cm

tf=12.0 cm

A_y=448.00 cm²

I_y=43904.00 cm⁴

W_y=3136.00 cm³

A_z=448.00 cm²

I_z=32256.00 cm⁴

W_z=2688.00 cm³

A_x=672.00 cm²

I_x=62789.4 cm⁴

STRESSES

Sig_{c,0,d} = N/A_x = 582.61/672.00 = 8.67 MPa

ALLOWABLE STRESSES

f_{c,0,d} = 17.92 MPa

Factors and additional parameters

kh = 1.10

k_{mod} = 0.80

K_{sys} = 1.00



LATERAL BUCKLING PARAMETERS:

BUCKLING PARAMETERS:



About Y axis:

LY = 3.60 m

Lambda_{rel} Y = 0.73

LFY = 3.60 m

Lambda Y = 44.54

ky = 0.79

kcy = 0.92



About Z axis:

LZ = 3.60 m

Lambda_{rel} Z = 0.85

LFZ = 3.60 m

Lambda Z = 51.96

kz = 0.89

kc_z = 0.87

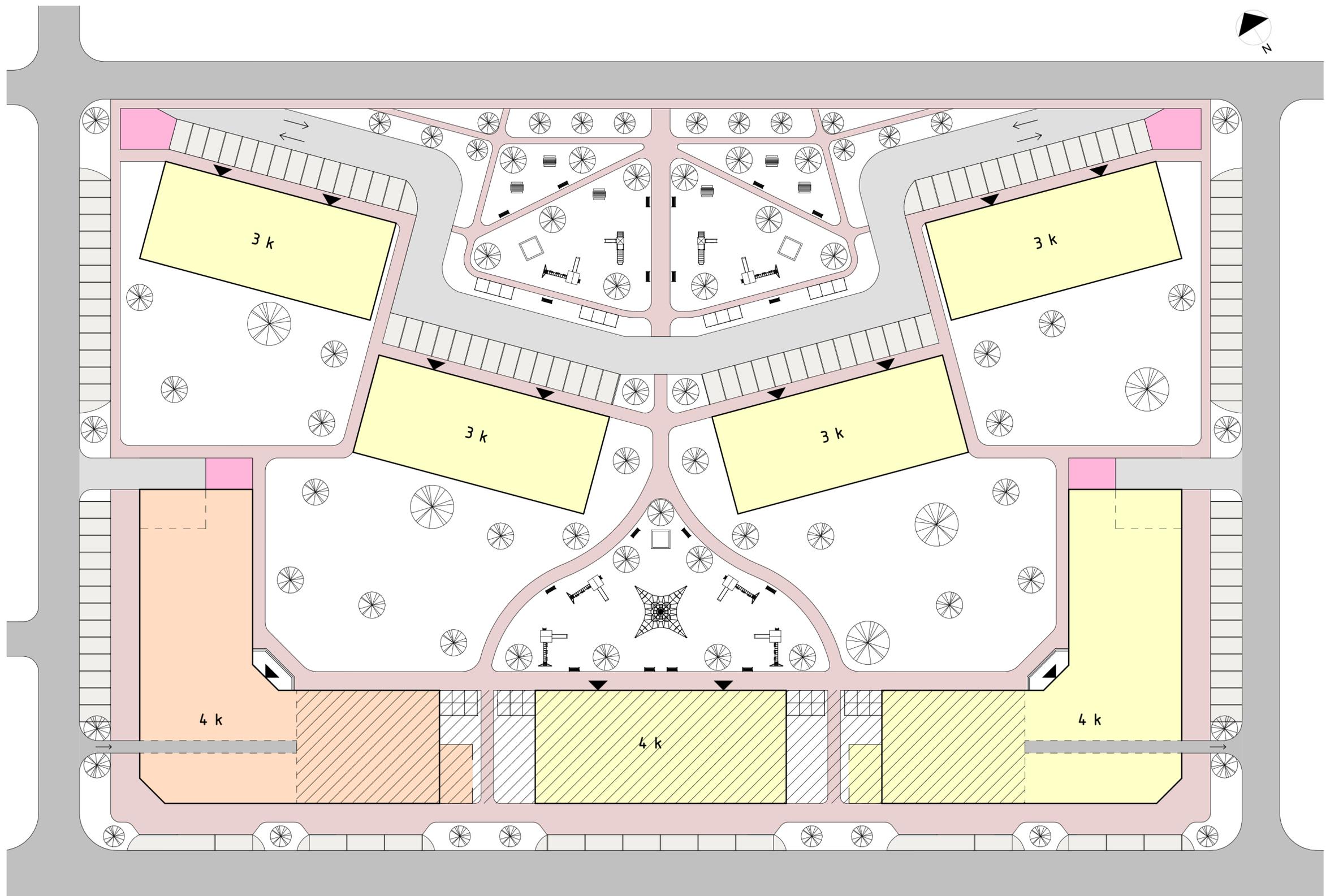
VERIFICATION FORMULAS:

Sig_{c,0,d}/f_{c,0,d} = 8.67/17.92 = 0.48 < 1.00 (6.23-4)]

Sig_{c,0,d}/(k_c*f_{c,0,d}) = 8.67/(0.87*17.92) = 0.56 < 1.00 (6.23-4)

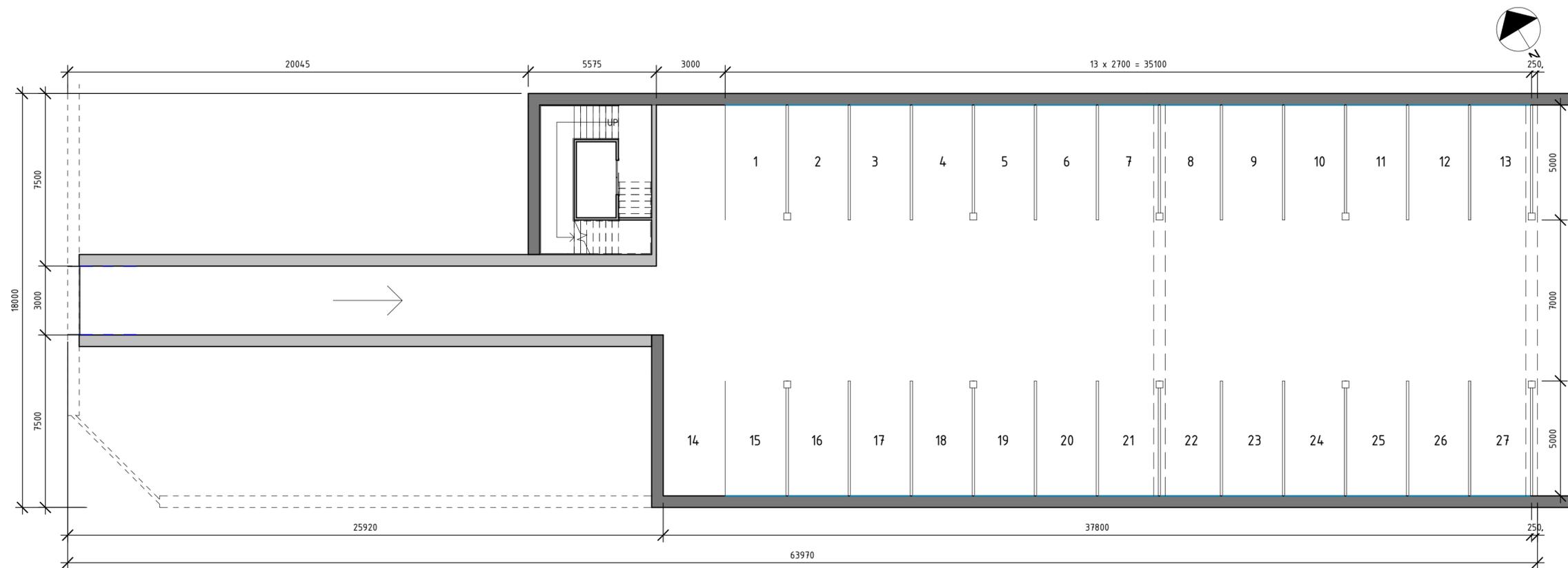
Section OK !!!

GRAAFILINE OSA



- Legend**
- Hoone
 - Lahendatav hoone
 - Maa-aluse parkla asukoht
 - Prügimaja
 - Jalgrataste varjualune
 - Sissepääs korteritesse
 - Maa-alusesse parklasse viiv tee
 - Kvartalit ümbritsev sõidutee
 - Kvartalisine sõidutee
 - Parkimisala
 - Kõnnitee

TAL TECH	TTÜ INSENERITEADUSKOND		Magistritöö	Möötkava: 1:450	Leht/lehti: 1 / 14
	Koostaja: Merike Suits	Allkiri ja kuupäev: 20.05.2022	Kasarmu tn 3 kinnistu asendiplaan		
Juhendaja: Eero Tuhkanen	Allkiri ja kuupäev: 20.05.2022				
Tartu Kolledž			Kasarmu tn 3 neljakorruselise äri- ja kortermaja kandekonstruktsioonide põhimõteline lahendus ja kaupluse vahelae arvutus		



	TTÜ INSENERITEADUSKOND		Magistritöö	Möötkava: 1 : 150	Leht/lehti: 2 / 14
	Koostaja: Merike Suits	Allkiri ja kuupäev: 20.05.2022	Arhitektuurne 0. korruse plaan		
Juhendaja: Eero Tuhkanen	Allkiri ja kuupäev: 20.05.2022				
Tartu Kolledž			Kasarmu tn 3 neljakorruselise äri- ja kortermaja kandekonstruktsioonide põhimõtteline lahendus ja kauple vahelae konstruktiivne projekt		



1. korruse ruumid	
Ruumi nimetus	Pindala (m ²)
Ilusalong	138.0
Kauplus	348.1
Lemmikloomapood	90.4
Panipaigad	26.6
Panipaigad	32.6
Pisipood	69.4
Puhkeruum	19.9
Restoran	202.4
Riidepood	103.9
Sissesõit parklasse	74.8
Tehnoruum	22.2
Tehnoruum	28.3
Terrass	49.5
Trepikoda	40.7
Trepikoda	56.0
Σ	1302.9

TAL TECH Koostaja: Merike Suits Juhendaja: Eero Tuhkanen	TTÜ INSENERITEADUSKOND Allkiri ja kuupäev: 20.05.2022	Magistritöö Arhitektuurne 1. korruse plaan	Mootkava: 1:150	Leht/lehti: 3 / 14
	Tartu Kolledž		Kasarmu tn 3 neljakorruselise äri- ja kortermaja kandekonstruktsioonide põhimõtteline lahendus ja kaupluse vahelae konstruktiivne projekt	



2. korruse ruumid	
Ruumi nimetus	Pindala (m ²)
Kontor	57.3
Kontorid	469.3
Koridor	82.4
Korter 1	33.2
Korter 2	47.0
Korter 3	86.2
Korter 4	96.0
Korter 5	43.8
Korter 6	84.6
Korter 7	91.0
Korter 8	99.5
Trepikoda	41.6
Trepikoda	56.5
Σ	1288.5

TAL TECH Koostaja: Merike Suits Juhendaja: Eero Tuhkanen	TTÜ INSENERITEADUSKOND Allkiri ja kuupäev: 20.05.2022	Magistritöö Mõõtkava: 1:150 Leht/lehti: 4 / 14
	Allkiri ja kuupäev: 20.05.2022	
Tartu Kolledž		Kasarmu tn 3 neljakorruselise äri- ja kortermaja kandekonstruktsioonide põhimõtteline lahendus ja kauple vahelae konstruktiivne projekt



3. korruse ruumid	
Ruumi nimetus	Pindala (m ²)
Kontor	56.4
Kontorid	469.3
Koridor	82.4
Korter 9	33.2
Korter 10	47.0
Korter 11	86.2
Korter 12	96.0
Korter 13	43.8
Korter 14	84.6
Korter 15	91.0
Korter 16	99.5
Trepikoda	41.6
Trepikoda	56.5
Σ	1287.5

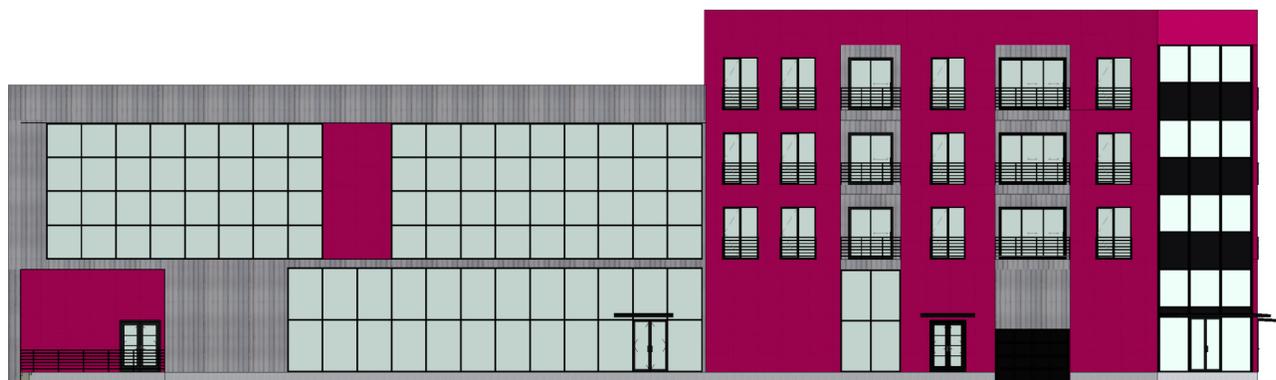
TAL TECH Koostaja: Merike Suits Juhendaja: Eero Tuhkanen	TTÜ INSENERITEADUSKOND Allkiri ja kuupäev: 20.05.2022 Allkiri ja kuupäev: 20.05.2022	Magistritöö	Möötkava: 1:150	Leht/lehti: 5 / 14
		Arhitektuurne 3. korruse plaan		Kasarmu tn 3 neljakorruselise äri- ja kortermaja kandekonstruktsioonide põhimõtteline lahendus ja kauple vahelae konstruktiivne projekt
Tartu Kolledž				

4. korruse ruumid

Ruumi nimetus	Pindala (m ²)
Koridor	82.4
Korter 17	81.3
Korter 18	86.2
Korter 19	96.0
Korter 20	43.8
Korter 21	84.6
Korter 22	91.0
Korter 23	97.6
Korter 24	83.8
Trepikoda	55.9
Σ	802.7



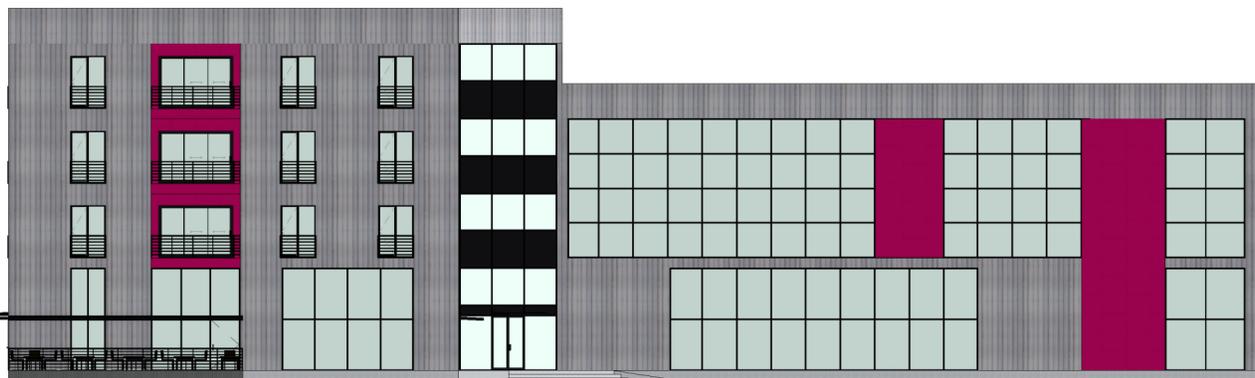
	TTÜ INSENERITEADUSKOND	Magistritöö	Möötkava: 1:150	Leht/lehti: 6 / 14
	Koostaja: Merike Suits Juhendaja: Eero Tuhkanen	Allkiri ja kuupäev: 20.05.2022 Allkiri ja kuupäev: 20.05.2022	Arhitektuurne 4. korruse plaan	
Tartu Kolledž			Kasarmu tn 3 neljakorruselise äri- ja kortermaja kandekonstruktsioonide põhimõtteline lahendus ja kauple vahelae konstruktiivne projekt	



1 Vaade läänest
1 : 200



2 Vaade põhjast
1 : 200



3 Vaade idast
1 : 200

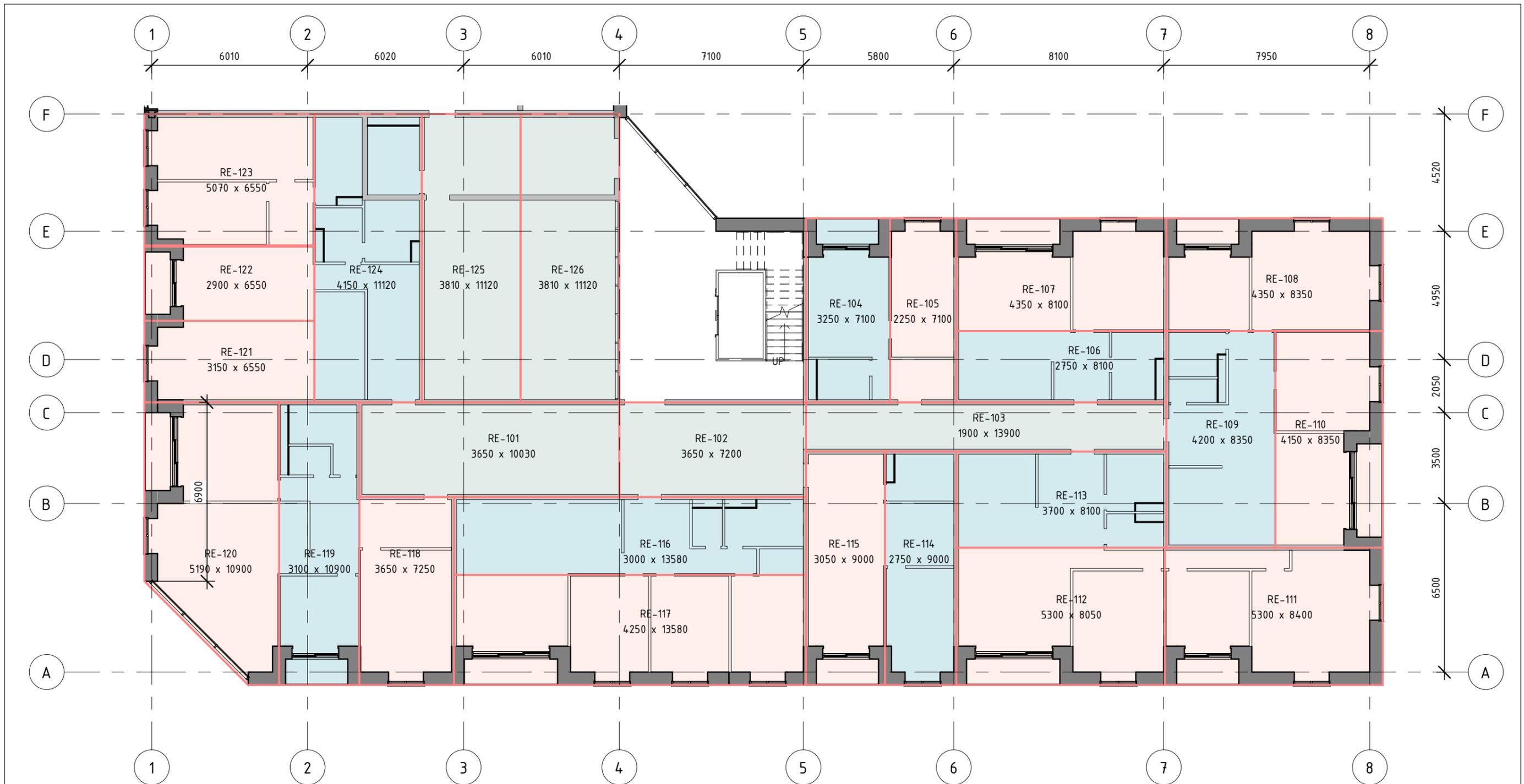


4 Vaade lõunast
1 : 200

Legend

-  Kuumõlitatud voodrilauad
-  Plekist fassaadikassetid

	TTÜ INSENERITEADUSKOND	Magistritöö	Mootkava: 1 : 200	Leht/lehti: 7 / 14
	Koostaja: Merike Suits Juhendaja: Eero Tuhkanen	Allkiri ja kuupäev: 20.05.2022 Allkiri ja kuupäev: 20.05.2022	Arhitektuursed vaated	
Tartu Kolledž		Kasarmu tn 3 neljakorruselise äri- ja kortermaja kandekonstruktsioonide põhimõtteline lahendus ja kaupluse vahelae konstruktiivne projekt		



2. korruse moodulid

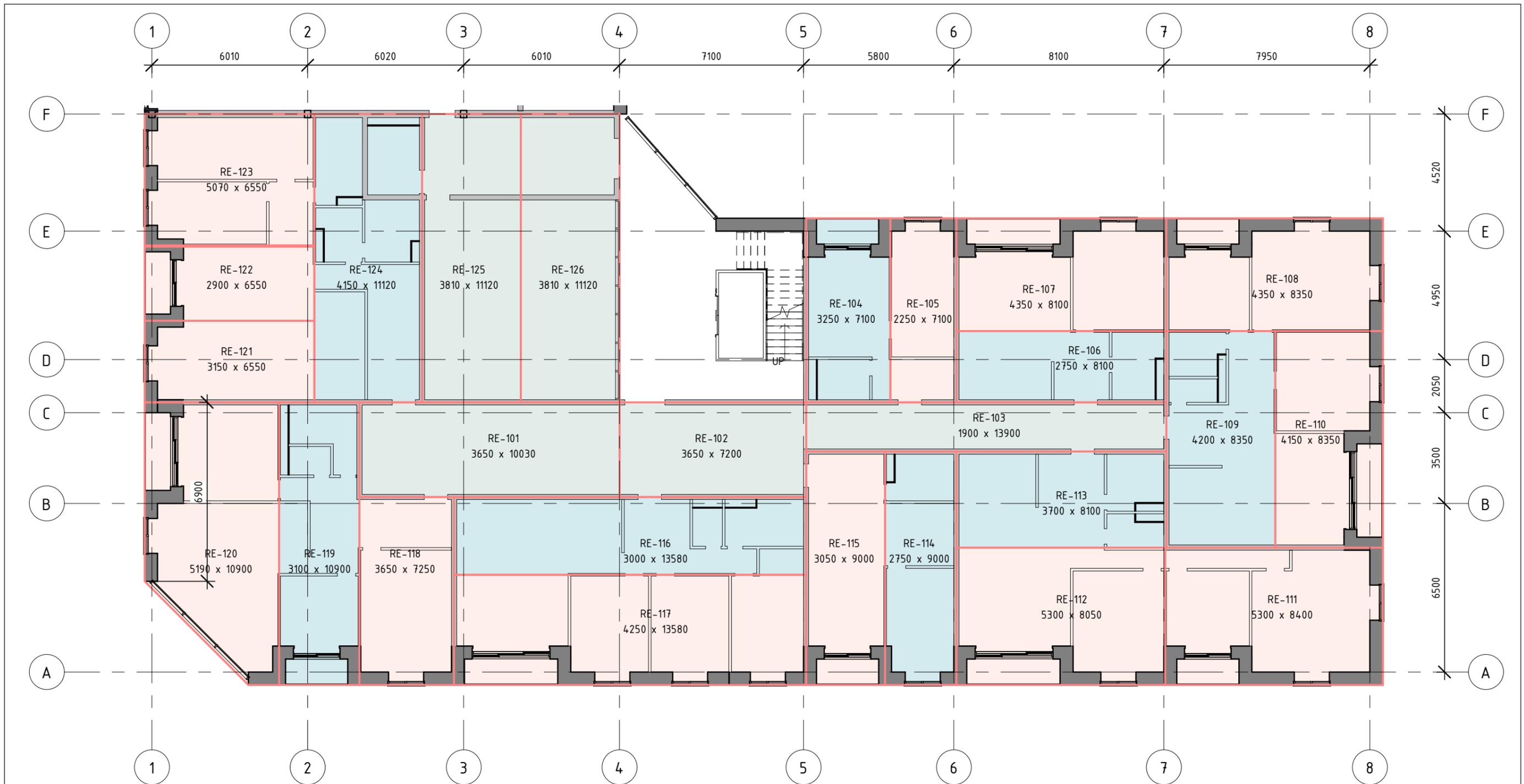
Tähis	Tüüp	Laius (mm)	Pikkus (mm)
RE-101	Ühis	3650	10030
RE-102	Ühis	3650	7200
RE-103	Ühis	1900	13900
RE-104	Märg	3250	7100
RE-105	Elu	2250	7100
RE-106	Märg	2750	8100
RE-107	Elu	4350	8100
RE-108	Elu	4350	8350
RE-109	Märg	4200	8350
RE-110	Elu	4150	8350
RE-111	Elu	5300	8050
RE-112	Elu	5300	8050
RE-113	Märg	3700	8100

Tähis	Tüüp	Laius (mm)	Pikkus (mm)
RE-114	Märg	2750	9000
RE-115	Elu	3050	9000
RE-116	Märg	3000	13580
RE-117	Elu	4250	13580
RE-118	Elu	3650	7250
RE-119	Märg	3100	10900
RE-120	Elu	5190	10900
RE-121	Elu	3150	6550
RE-122	Elu	2900	6550
RE-123	Elu	5070	6550
RE-124	Märg	4150	11120
RE-125	Ühis	3810	11120
RE-126	Ühis	3810	11120

Ruum-moodulite värvide tähendused

- Vaid eluruumi sisaldav ruum-moodul
- Ka vannituba sisaldav ruum-moodul
- Ühiskasutatavat koridori sisaldav ruum-moodul

	TTÜ INSENERITEADUSKOND	Magistritöö	Mõõtkaava: 1 : 150	Leht/lehti: 8 / 14
	Koostaja: Merike Suits	Allkiri ja kuupäev: 20.05.2022	2. korruse moodulite jaotus	
Juhendaja: Eero Tuhkanen	Allkiri ja kuupäev: 20.05.2022	Kasarmu tn 3 neljakorruselise äri- ja kortermaja kandekonstruktsioonide põhimõtteline lahendus ja kaupluse vahelae konstruktiivne projekt		
Tartu Kolledž				



3. korruse moodulid

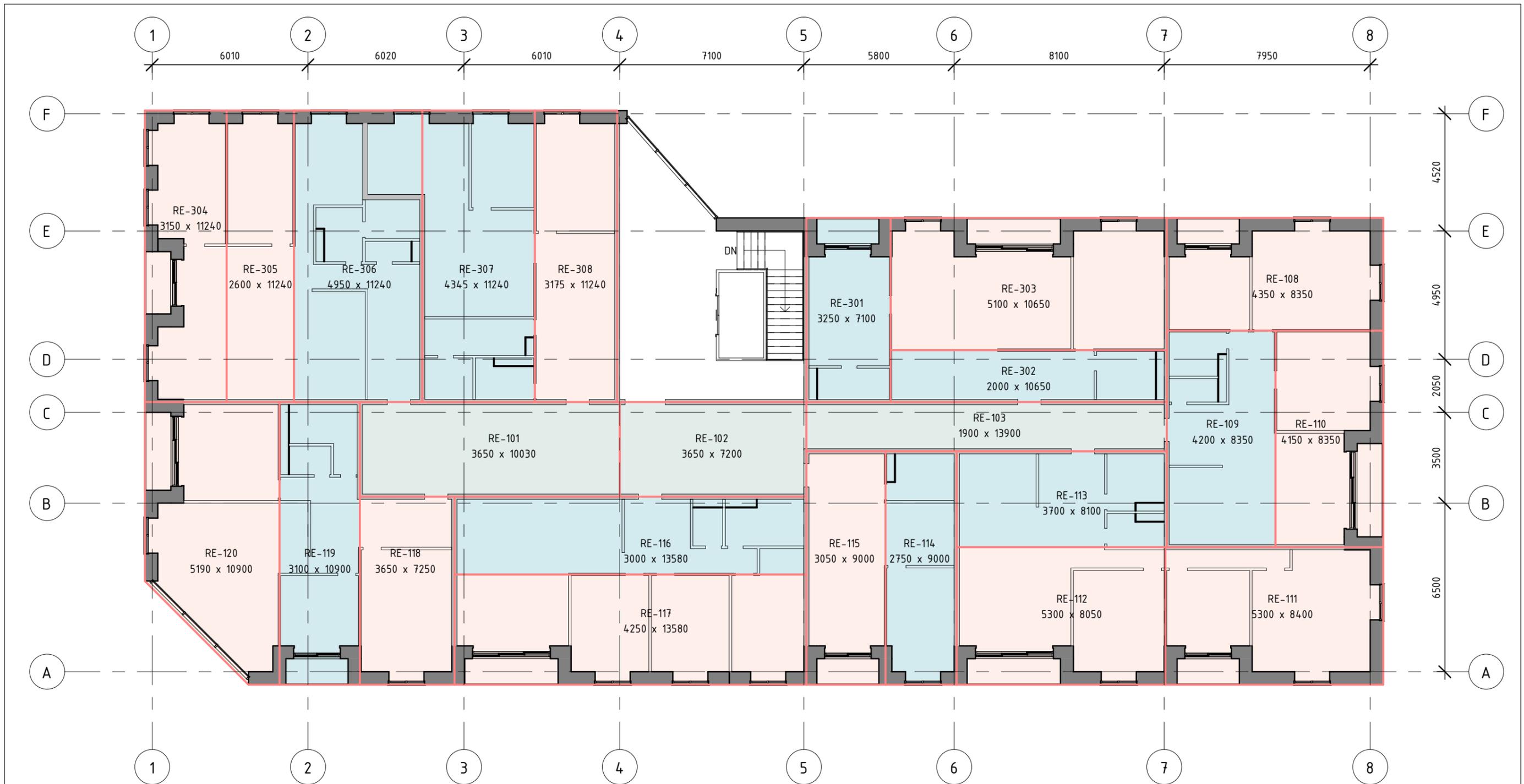
Tähis	Tüüp	Laius (mm)	Pikkus (mm)
RE-101	Ühis	3650	10030
RE-102	Ühis	3650	7200
RE-103	Ühis	1900	13900
RE-104	Märg	3250	7100
RE-105	Elu	2250	7100
RE-106	Märg	2750	8100
RE-107	Elu	4350	8100
RE-108	Elu	4350	8350
RE-109	Märg	4200	8350
RE-110	Elu	4150	8350
RE-111	Elu	5300	8050
RE-112	Elu	5300	8050
RE-113	Märg	3700	8100

Tähis	Tüüp	Laius (mm)	Pikkus (mm)
RE-114	Märg	2750	9000
RE-115	Elu	3050	9000
RE-116	Märg	3000	13580
RE-117	Elu	4250	13580
RE-118	Elu	3650	7250
RE-119	Märg	3100	10900
RE-120	Elu	5190	10900
RE-121	Elu	3150	6550
RE-122	Elu	2900	6550
RE-123	Elu	5070	6550
RE-124	Märg	4150	11120
RE-125	Ühis	3810	11120
RE-126	Ühis	3810	11120

Ruum-moodulite värvide tähendused

- Vaid eluruumi sisaldav ruum-moodul
- Ka vannituba sisaldav ruum-moodul
- Ühiskasutatavat koridori sisaldav ruum-moodul

	TTÜ INSENERITEADUSKOND	Magistritöö	Mõõtkava: 1 : 150	Leht/lehti: 9 / 14
	Koostaja: Merike Suits	Allkiri ja kuupäev: 20.05.2022	3. korruse moodulite jaotus	
Juhendaja: Eero Tuhkanen	Allkiri ja kuupäev: 20.05.2022	Tartu Kolledž		
Kasarmu tn 3 neljakorruselise äri- ja kortermaja kandekonstruktsioonide põhimõtteline lahendus ja kaupluse vahelae konstruktiivne projekt				



4. korruse moodulid

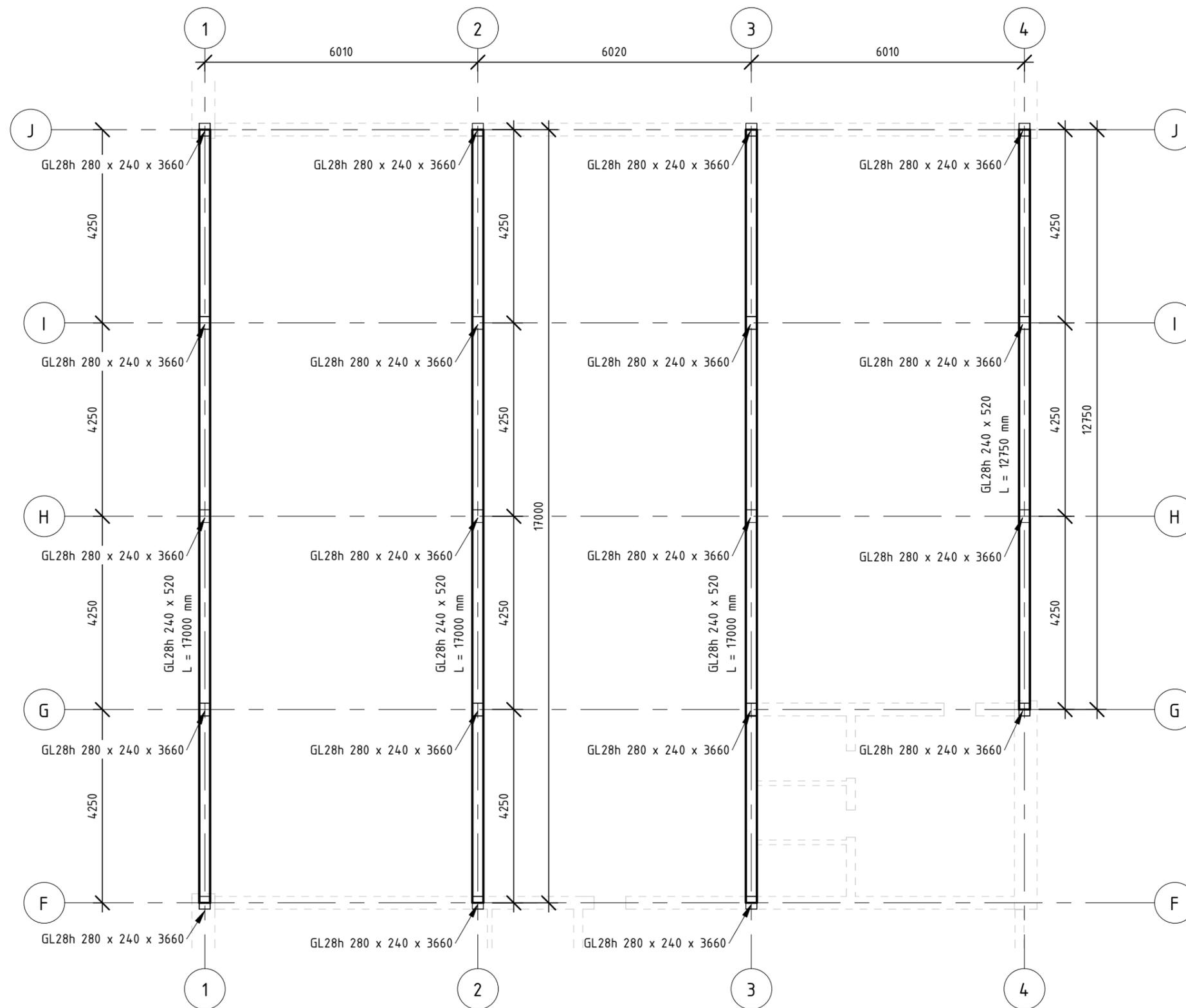
Tähis	Tüüp	Laius (mm)	Pikkus (mm)
RE-101	Ühis	3650	10030
RE-102	Ühis	3650	7200
RE-103	Ühis	1900	13900
RE-108	Elu	4350	8350
RE-109	Märg	4200	8350
RE-110	Elu	4150	8350
RE-111	Elu	5300	8050
RE-112	Elu	5300	8050
RE-113	Märg	3700	8100
RE-114	Märg	2750	9000
RE-115	Elu	3050	9000
RE-116	Märg	3000	13580

Tähis	Tüüp	Laius (mm)	Pikkus (mm)
RE-117	Elu	4250	13580
RE-118	Elu	3650	7250
RE-119	Märg	3100	10900
RE-120	Elu	5190	10900
RE-301	Märg	3250	7100
RE-302	Märg	2000	10650
RE-303	Elu	5100	10650
RE-304	Elu	3150	11240
RE-305	Elu	2600	11240
RE-306	Märg	4950	11240
RE-307	Märg	4345	11240
RE-308	Märg	3175	11240

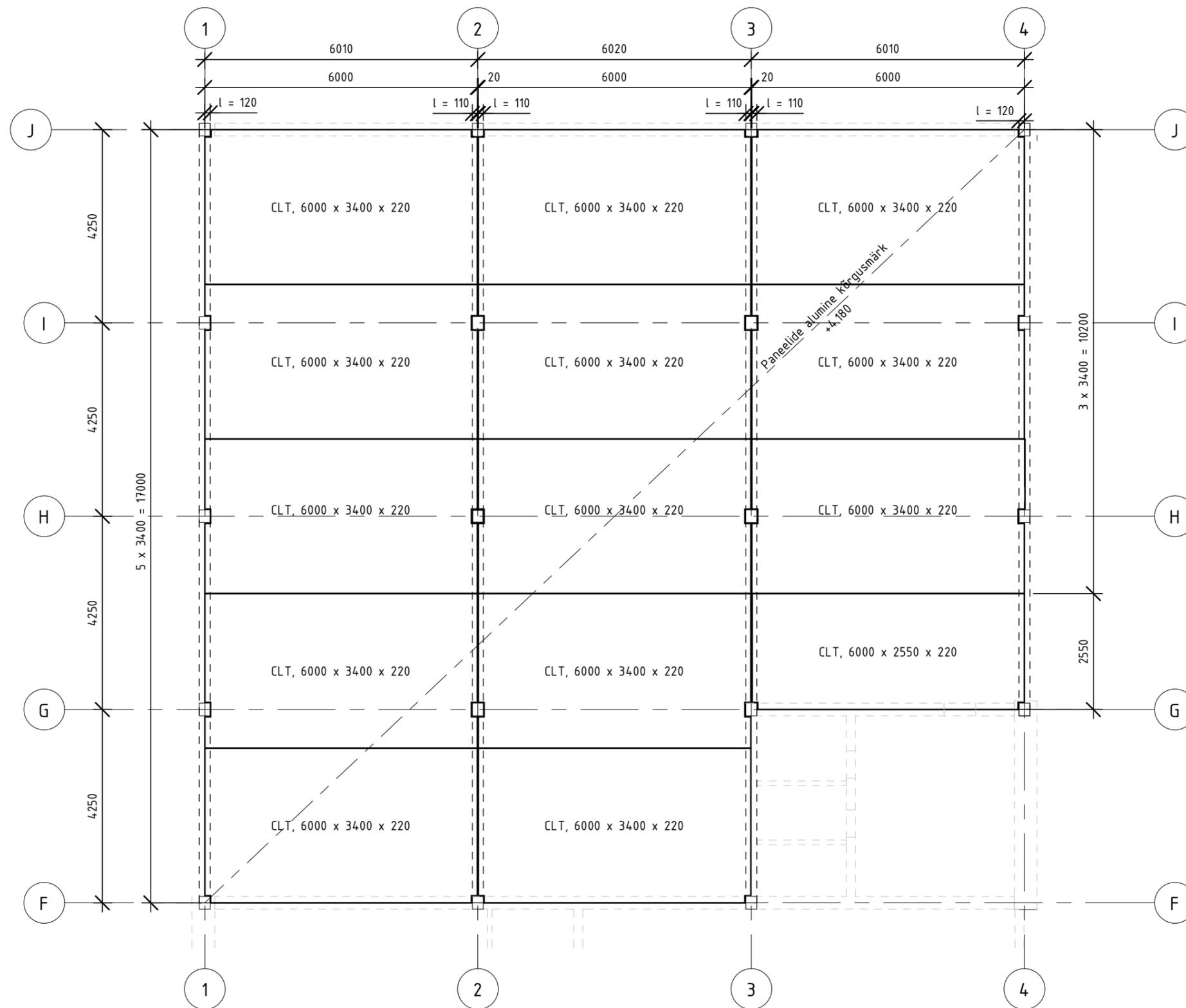
Ruum-moodulite värvide tähendused

- Vaid eluruumi sisaldav ruum-moodul
- Ka vannituba sisaldav ruum-moodul
- Ühiskasutatavat koridori sisaldav ruum-moodul

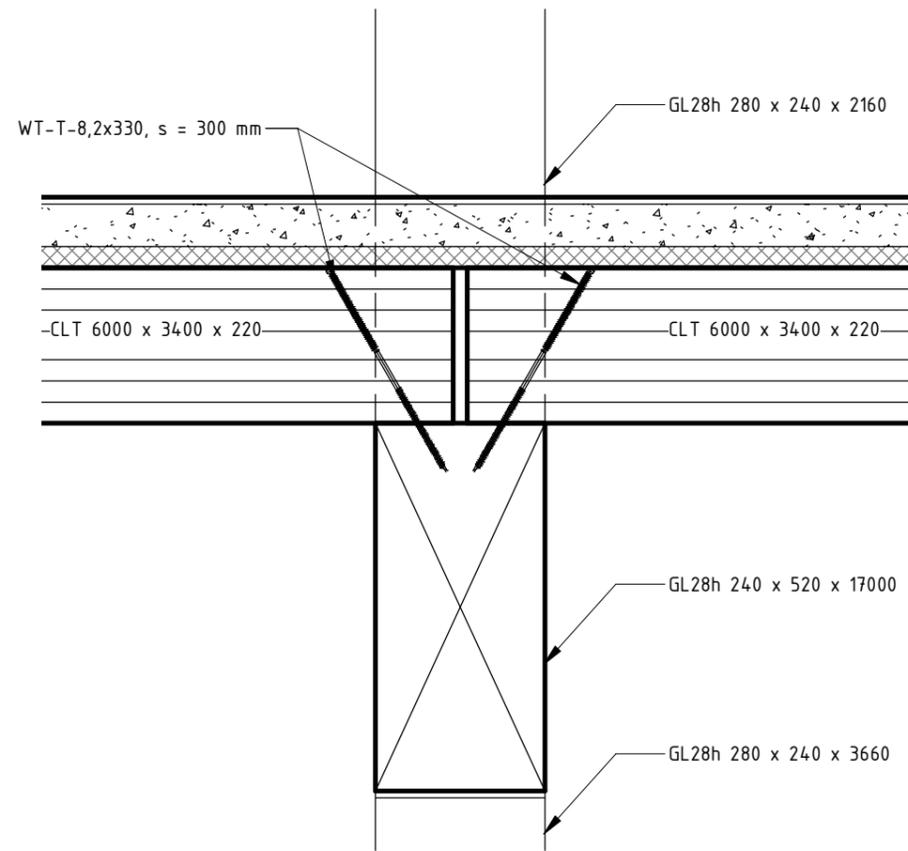
TAL TECH	TTÜ INSENERITEADUSKOND	Magistritöö	Mõõtkaava: 1 : 150	Leht/lehti: 10 / 14
	Koostaja: Merike Suits	Allkiri ja kuupäev: 20.05.2022	4. korruse moodulite jaotus	
Juhendaja: Eero Tuhkanen	Allkiri ja kuupäev: 20.05.2022	Tartu Kolledž		
		Kasarmu tn 3 neljakorruselise äri- ja kortermaja kandekonstruktsioonide põhimõtteline lahendus ja kaupluse vahelae konstruktiivne projekt		



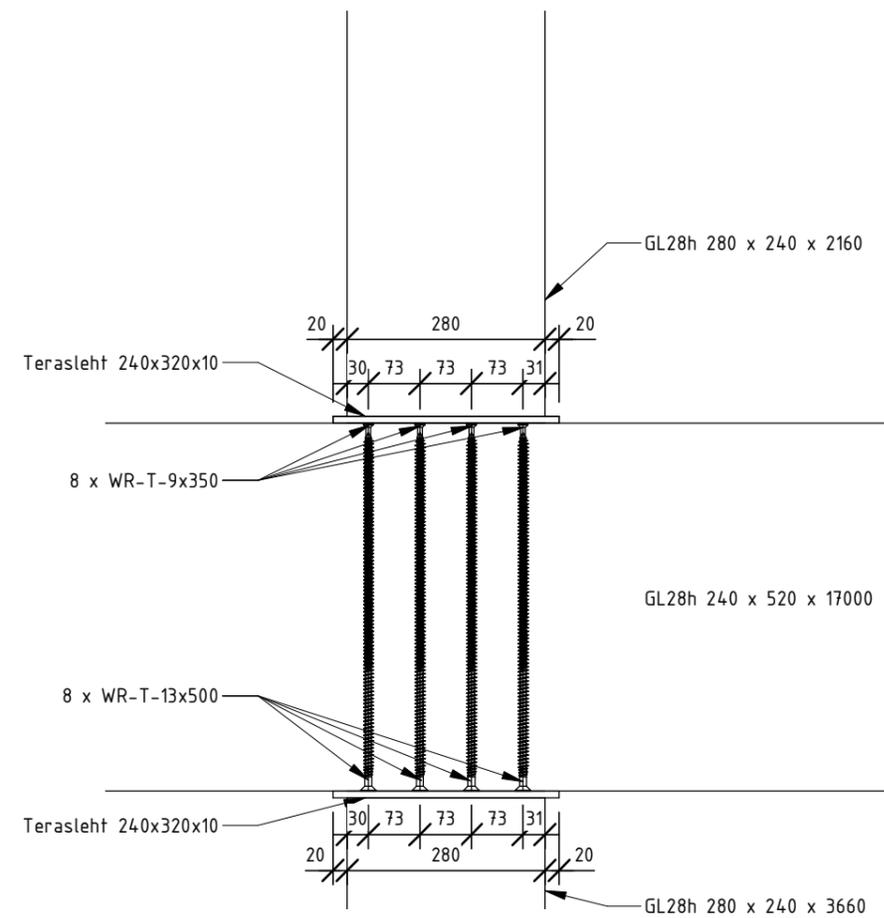
	TTÜ INSENERITEADUSKOND		Magistritöö	Mõõtkava: 1 : 100	Leht/lehti: 11 / 14
	Koostaja: Merike Suits	Allkiri ja kuupäev: 20.05.2022		Kaupluse vahelae karkassi joonis	
Juhendaja: Eero Tuhkanen	Allkiri ja kuupäev: 20.05.2022				
Tartu Kolledž			Kasarmu tn 3 neljakorruselise äri- ja kortermaja kandekonstruktsioonide põhimõtteline lahendus ja kaupluse vahelae konstruktiivne projekt		



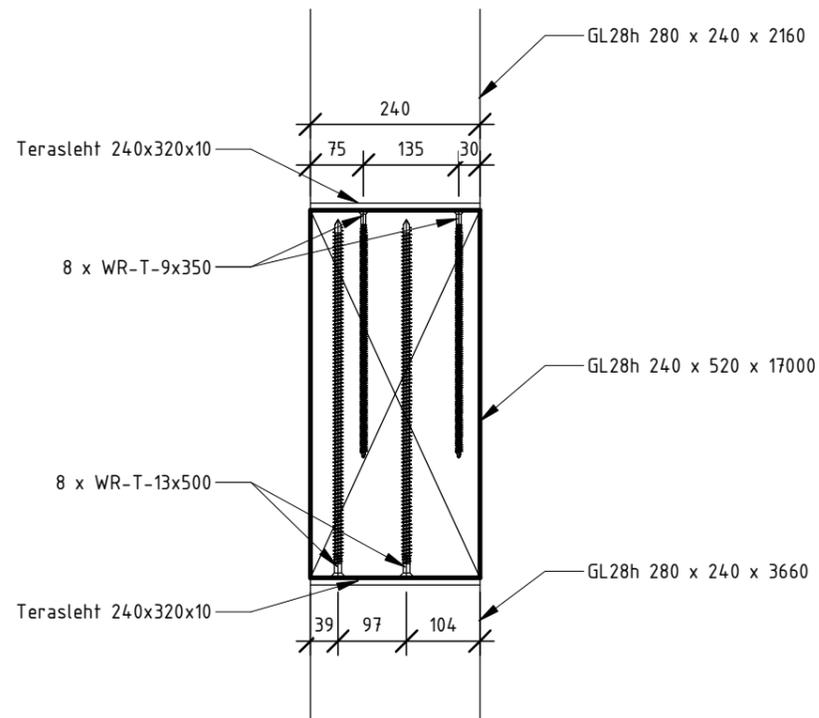
	TTÜ INSENERITEADUSKOND		Magistritöö	Mõõtkava: 1 : 100	Leht/lehti: 12 / 14
	Koostaja: Merike Suits Juhendaja: Eero Tuhkanen	Allkiri ja kuupäev: 20.05.2022 Allkiri ja kuupäev: 20.05.2022	Kaupluse vahelae paneelide laotis Kasarmu tn 3 neljakorruselise äri- ja kortermaja kandekonstruktsioonide põhimõtteline lahendus ja kaupluse vahelae konstruktiivne projekt		
Tartu Kolledž					



1 Paneeli kinnitus talaga
1 : 10

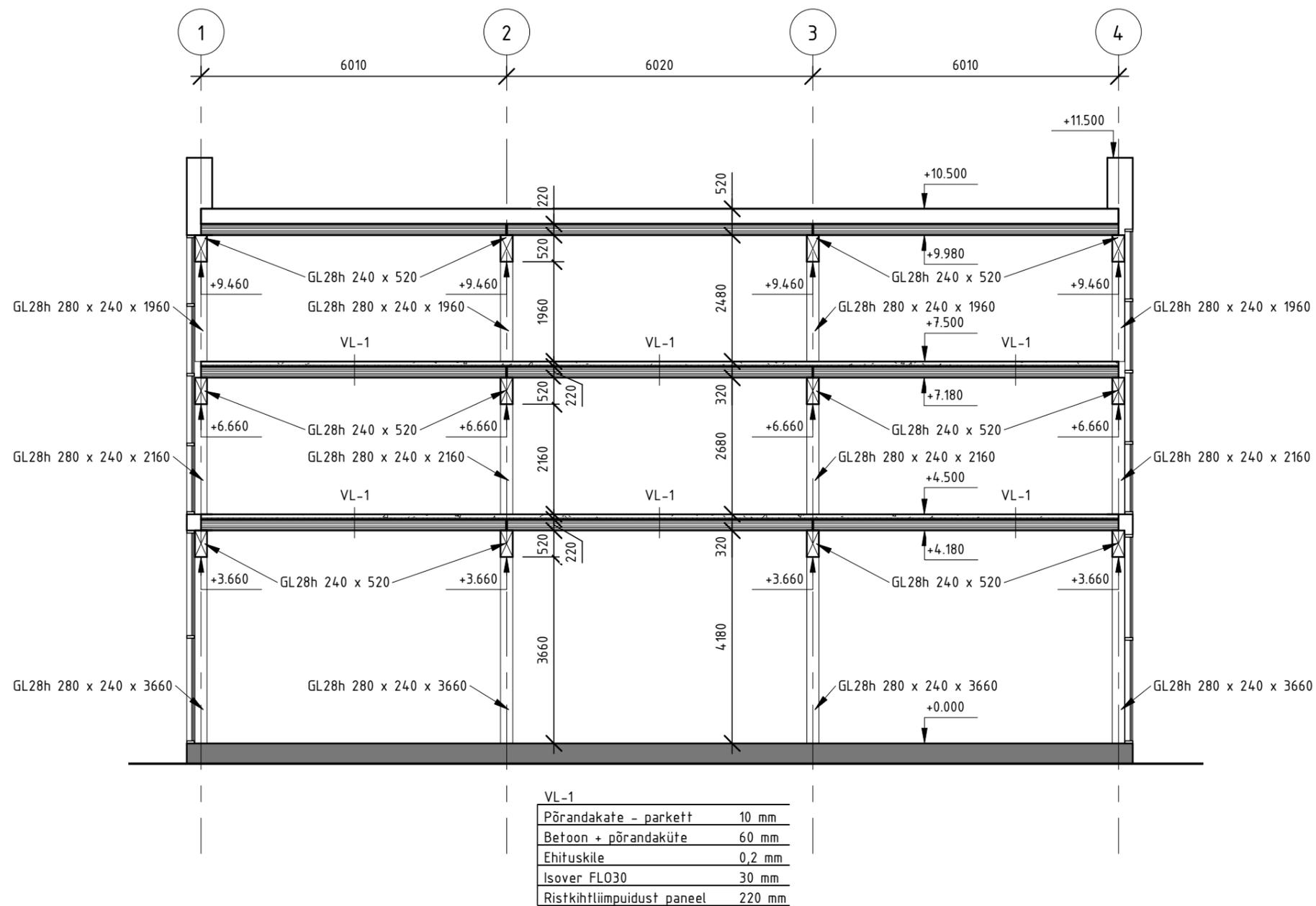


2 Posti ja tala ühendus 1
1 : 10



3 Posti ja tala ühendus 2
1 : 10

	TTÜ INSENERITEADUSKOND	Magistritöö	Möötkava: 1 : 10	Leht/lehti: 13 / 14
	Koostaja: Merike Suits Juhendaja: Eero Tuhkanen	Allkiri ja kuupäev: 20.05.2022 Allkiri ja kuupäev: 20.05.2022	Paneeli, tala ja posti ühendussõlm	
Tartu Kolledž		Kasarmu tn 3 neljakorruselise äri- ja kortermaja kandekonstruktsioonide põhimõtteline lahendus ja kaupluse vahelae konstruktiivne projekt		



	TTÜ INSENERITEADUSKOND	Magistritöö	Mõõtkava: 1 : 100	Leht/lehti: 14 / 14
	Koostaja: Merike Suits	Allkiri ja kuupäev: 20.05.2022	Lõige kaupluse osa tiivast	
Juhendaja: Eero Tuhkanen	Allkiri ja kuupäev: 20.05.2022			
Tartu Kolledž		Kasarmu tn 3 neljakorruselise äri- ja kortermaja kandekonstruktsioonide põhimõtteline lahendus ja kaupluse vahelae konstruktiivne projekt		