



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
INSENERITEADUSKOND
Tartu kolledž

**ELAMUTE VAHELAGEDE PUITTALADE
MAKSUMUSTE VÕRDUS TULENEVALT
LÄBIVIIKUDE VAJADUSEST**

**COST COMPARISON OF TIMBER BEAMS WITH
OPENINGS FOR CEILING SOLUTIONS OF RESIDENTIAL
BUILDINGS**

MAGISTRITÖÖ

Üliõpilane: Liisi Kolpakov

Üliõpilaskood: 153882EAEI

Juhendaja: Illimar Kalk, ehitusinsener tase 7,
lektor

Tartu 2020

(Tiitellehe pöördel)

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.

".....".....2020.

Autor: Liisi Kolpakov

/ allkirjastatud digitaalselt /

Töö vastab magistritööle esitatud nõuetele

".....".....2020.

Juhendaja: Illimar Kalk

/ allkirjastatud digitaalselt /

Kaitsmisele lubatud

".....".....2020.

Kaitsmiskomisjoni esimees Aime Ruus

/ allkirjastatud digitaalselt /

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks¹

Mina Liisi Kolpakov (sünnikuupäev: 03.10.1995)

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose: „Elamute vahelagede puittalade maksumuste võrdlus tulenevalt läbiviikude vajadusest“, mille juhendaja on Illimar Kalk,

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.

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

_____ (allkirjastatud digitaalselt)

“.....”.....2020. (kuupäev)

TalTech Tartu kolledž

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Üliõpilane: Liisi Kolpakov, 153882EAEI
Õppekava, peeriala: EAEI02/12Tartu - Ehitiste projekteerimine ja ehitusjuhtimine
Juhendaja(d): Lektor, Illimar Kalk, tel:
Konsultant: Projekteerija, Marko Otsus
AMV GRUPP OÜ, +372 52487373, marko@katusefermid.ee

Lõputöö teema:

Elamute vahelagede puittalade maksumuste võrdlus tulenevalt läbiviikude vajadusest (inglise keeles) *Cost comparison of timber beams with openings for ceiling solutions of residential buildings*

Lõputöö põhieesmärgid:

1. Võrrelda arvutustulemuste põhjal puit-metallsõrestikest (positalasid), augustatud I- taladest, liimpuittaladest ja spoonliimpuittaladest elamute vahelagede dimensioneerimisel kriitilisemaid tulemusi erinevate sillete ja läbiviikude korral.
2. Võrrelda vahelagede maksumust.

Lõputöö etapid ja ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Ülesande püstitus, teoreetiline ettevalmistus	21.02.2020
2.	Programmide kontroll ja talade dimensioneerimine	11.04.2020
3.	Maksumuste võrdlus ja analüüs	27.04.2020
4.	Lõplik vormistamine	22.05.2020

Töö keel: Eesti keel **Lõputöö esitamise tähtaeg:** 29. mai 2020 a

Üliõpilane: ".....".....2020 a
/allkiri/

Juhendaja: ".....".....2020 a
/allkiri/

Konsultant: ".....".....2020.a
/allkiri/

Programmijuht: ".....".....2020.a
/allkiri/

Kinnise kaitsmise ja/või lõputöö avalikustamise piirangu tingimused formuleeritakse pöördel

SISUKORD

LÜHENDITE JA TÄHISTE LOETELU	7
SISSEJUHATUS	10
1. ÜLEVAADE KIRJANDUSEST.....	12
1.1 Varasemad uurimused	12
1.2 Puittalade tüübid ja materjal	14
1.2.1 Lamell-liimpuit.....	14
1.2.2 Spoonliimpuit	15
1.2.3 I-talad	16
1.2.4 Puitmetallsõrestik.....	17
1.2.5 Niiskus.....	19
1.2.6 Tulepüsivus ja tuletundlikkus.....	19
1.3 Projekteerimisjuhendite ülevaade	20
1.3.1 Lamell-liimpuidu riskülikristlõikega tala arvutus kandepiirseisundis.....	20
1.3.2 Lamell-liimpuidust riskülikristlõikega tala kasutuspiirseisundis	21
1.3.3 Lamell-liimpuidust tala nõrgestatud ristlõike kontroll	23
1.3.4 LVL riskülikristlõikega tala arvutus kandepiirseisundis.....	23
1.3.5 LVL riskülikristlõikega tala kasutuspiirseisundis	24
1.3.6 LVL ristlõike nõrgestatud ristlõike kontroll	24
1.3.7 I-tala kandepiirseisundis	30
1.3.8 I-tala kasutuspiirseisundis	34
1.3.9 I-tala nõrgestatud ristlõike kontroll.....	35
2. METOODIKA	40
2.1 Magistritöö lähteandmed ja eesmärk	40
2.2 Vahelagedele mõjuvad koormused	41
2.2.1 Konstruktsiooni omakaal	41
2.2.2 Kasuskoormus	41
2.2.3 Koormuskombinatsioonid	41
2.3 Arvutusprogrammid	42
2.4 Liimpuittaladest vahelae arvutusmetoodika	42
2.5 Spoonliimpuittaladest vahelae arvutusmetoodika	43
2.5.1 Nõrgestatud LVL-R-tala kontroll	44
2.6 I-taladest vahelagede arvutusmetoodika	45
2.6.1 Nõrgestatud I-tala kontroll	46
2.7 Puitmetallsõrestikest vahelae arvutusmetoodika	46
2.8 Maksumuse arvestamine	46

3. TULEMUSED JA JÄRELDUSED	48
3.1 Kuiva ruumi talade dimensioneerimise tulemused	48
3.1.1 Sille 4 m	48
3.1.2 Sille 6 m	49
3.1.3 Sille 7 m	50
3.2 Märja ruumi talade dimensioneerimise tulemused	51
3.2.1 Sille 4 m	51
3.2.2 Sille 6 m	52
3.3 Talade maksumused	52
3.3.1 Sille 4 m – kuiv ruum	52
3.3.2 Sille 6 m – kuiv ruum	54
3.3.3 Sille 7 m – kuiv ruum	54
3.3.4 Sille 4 m – märg ruum	55
3.3.5 Sille 6 m – märg ruum	56
3.4 Tulemuste analüüs ja järeldused.....	57
KOKKUVÕTE	62
SUMMARY.....	65
KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU	68
LISAD	70

LÜHENDITE JA TÄHISTE LOETELU

Ladina suurtähed

A	- Ristlõike pindala
A_{ef}	- Efektiivne kontaktpind ristikiudu survele
$(EI)_b$	- Põranda laiuse b suunas vastav paindejäikus pikkusühiku kohta
$(EI)_l$	- Põranda silde I_{sille} suunas vastav paindejäikus laiusühiku kohta
EI_{joist}	- Tala paindejäikus
E_{mean}	- Elastsusmooduli keskväärtus
$E_{m,mean}$	- Plaadi elastsusmooduli keskväärtus
F	- Koondatud koormus
F_d	- Koormuse arvutusväärtus, arvutuskoormus
$F_{t,90,d}$	- Arvutuslik tõmbejõud ristikiudu
G_{mean}	- Nihkemooduli keskväärtus
GA_{joist}	- Tala nihkejäikus
$I_{red,h}$	- Redutseeritud inertsimoment
I_y	- Inertsimoment tugevama telje suhtes
L	- Ruumi suurim pikkusmõõde
$M_{d,hole}$	- Arvutuslik paindemoment nõrgestatud ristlõikes
$M_{d,max}$	- Talas tekkiv maksimaalne arvutuslik paindemoment
$M_{R,d}$	- Tala arvutuslik paindekandevõime
$M_{R,k}$	- Tala normatiivne paindekandevõime
$M_{y,g,k}$	- Tala normatiivne paindemoment alalisest koormusest
$M_{y,q,k}$	- Tala normatiivne paindemoment muutuvkoormusest
$R_{c,d}$	- Tala toe arvutuslik survekandevõime 50 mm toepikkuse korral
$R_{c,k}$	- Tala toe normatiivne survekandevõime 50 mm toepikkuse korral
$R_{V,k}$	- Nõrgestamata I-tala nihkekandevõime vastavalt ETA 02/0026 toodud väärtustele
V_d	- Arvutuslik nihkejõud
$V_{E,d,hole}$	- Arvutuslik nihkejõud nõrgestatud lõikes
$V_{R,d}$	- Arvutuslik nihkekandevõime
$V_{R,d,hole}$	- Nõrgestatud ristlõike arvutuslik nihkekandevõime
$V_{R,k}$	- Normatiivne nihkekandevõime
$V_{R,k,hole}$	- Nõrgestatud ristlõike normatiivne nihkekandevõime
W_y	- Ristkülikulise ristlõike vastupanumoment
	-

Ladina väiketähed

a	-	Ava pikkus
b	-	Tala laius
b_w	-	Seina laius
d	-	Diameeter
$f_{c,90,d}$	-	Arvutuslik ristikiudu survetugevus
$f_{m,d}$	-	Arvutuslik paindetugevus
$f_{m,k}$	-	Normatiivne paindetugevus
$f_{t,90,d}$	-	Arvutuslik tõmbetugevus ristikiudu
$f_{t,90,k}$	-	Normatiivne tõmbetugevus ristikiudu
$f_{v,d}$	-	Arvutuslik serviti nihketugevus
$f_{v,k}$	-	Normatiivne serviti nihketugevus
g_k	-	Konstruksioonile mõjuv normatiivne alaline koormus
h	-	Elemendi ristlõike kõrgus
h_{ef}	-	Efektiivne kõrgus
h_f	-	Tala vöö kõrgus
h_r	-	Abisuurus ümmarguste avade puhul
h_{ro}	-	Ava kohale jääva puitosa kõrgus
h_{ru}	-	Ava alla jääva puitosa kõrgus
h_w	-	Tala sein kõrgus
$h_{w,eff}$	-	Efektiivne tala sein kõrgus
k	-	Vähendustegur vastavalt tala sein materjalile
$k_{c,90}$	-	Koormuse konfiguratsiooni arvestav tegur
k_{def}	-	Roome ja niiskuse koosmõjust tekkinud deformatsioone ajas arvestav tegur
$k_{def,v}$	-	Roome ja niiskuse koosmõjust tekkinud deformatsioone ajas arvestav tegur nihke korral
k_h	-	Ristlõike kõrguse tegur paindel
k_{hole}	-	Vähendustegur, mis võtab arvesse ava mõju
k_{mod}	-	Koormuse kestuse ja niiskuse mõju arvestav modifikatsioonitegur
$k_{mod,v}$	-	Koormuse kestuse ja niiskuse mõju arvestav modifikatsioonitegur nihke korral
k_{δ}	-	Abitegur
k_{shape}	-	Kujutegur
k_{space}	-	Vähendustegur
k_{sys}	-	Süsteemi tugevuse tegur
$k_{t,90}$	-	Varutegur, mis suurendab üle 450 mm kõrguste talade puhul avaga ristlõikes tekkivaid pingeid

k_T	- Tegur, mis määrab maksimaalse nihkepinge pinge-kontsentratsiooni korral
l_A	- Toe kaugus avast
l_{ef}	- Tala efektiivne pikkus
l_{sille}	- Põranda sildeava
l_{sup}	- Toe tegelik kontaktpind
$l_{t,90}$	- Pingekolmnurga eeldatav pikkus ristikiudu tõmbepinge korral
l_v	- Kaugus avast elemendi otsani
m	- Põranda omakaalust ja pikaajalisest kasuskoormusest ($\Psi_2 * q_k$) leitud mass pindala ühiku kohta
q_k	- Konstruktsioonile mõjuv normatiivne muutuvkoormus
s	- Talade vahekaugus (samm)
$W_{fin,G}$	- Lõplik läbipaine alalisest koormusest G
$W_{fin,net}$	- Lõplik netoläbipaine
$W_{fin,Q}$	- Lõplik läbipaine domineerivast muutuvkoormusest Q
W_{inst}	- Hetkeline läbipaine
$W_{inst,G}$	- Hetkeline läbipaine alalisest koormusest G
$W_{inst,Q}$	- Hetkeline läbipaine domineerivast muutuvkoormusest Q
$W_{inst,al}$	- Lubatud hetkeline läbipaine
$W_{net,fin}$	- Lõplik läbipaine
$W_{net,fin,al}$	- Lubatud lõplik netoläbipaine

Kreeka tähed

γ_M	- Materjali omaduste osavarutegur, mis võtab arvesse ka mudeli määramatusi ja mõõdete varieeruvust
$\gamma_{M,v}$	- Materjali omaduste osavarutegur nihke korral
δ	- Koondatud koormuse $F = 1$ kN poolt põhjustatud suurim põranda konstruktsiooni läbipaine
δ_{adm}	- Koondatud koormuse $F = 1$ kN poolt põhjustatud suurim lubatud põranda konstruktsiooni läbipaine
$\rho_{g,mean}$	- Tiheduse keskvärtus
$\sigma_{c,90,d}$	- Arvutuslik survepinge ristikiudu
$\sigma_{m,d}$	- Arvutuslik paindepinge
$\sigma_{m,d,h}$	- Arvutuslik paindepinge ava tsentris
$\sigma_{t,90,d}$	- Arvutuslik tõmbepinge ristikiudu
τ_d	- Arvutuslik nihkepinge
Ψ_2	- Muutuva koormuse tõenäolise väärtuse kombinatsioonitegur

SISSEJUHATUS

Järjest karmimaks muutuvate energiatõhususe nõuete täitmiseks tuleb kasutada rohkem tehnosüsteeme kui 5 või 10 aastat tagasi. Vesi, kanalisatsioon, küte ja elekter on elementaarsed hoone osad, kuid tihti tekitavad need ehitajatele parajat peavalu. Ruumi efektiivsemaks kasutamiseks on arendatud rida erinevaid puitkonstruktsioonitüüpe, mis võimaldavad läbi vahelae vedada erinevaid kommunikatsioone, näiteks puitmetallsõrestikud (edaspidi positalad) ja I-talad (mõlemaid kutsutakse ka kergtaladeks). Viimasesse on läbiviike tunduvalt kergem teha kui näiteks sae-, liim- või spoonliimpuidust (edaspidi LVL) taladesse ning positala puhul puudub avade tegemise vajadus, kuna tegemist on sõrestikuga.

Maksumuste võrdlusi, mis oleksid fokuseeritud erinevatele puitkonstruktsioonidele, on tehtud vähe. Arvestades puitmaterjalide kiiret arengut, võiks neid rohkem olla, sest puit on taastuv loodusvara ja selle erinevaid vorme kasutatakse ehituses järjest rohkem. Puit ise on mittehomoogeenne materjal ja teda kasutatakse sageli koos teiste materjalidega nt komposiidina koos terase, betooni ja klaasplastidega. Kõigele lisaks on erinevate materjalide tootjaid väga palju. Seetõttu on nii projekteerijatel kui ka ehitajatel, rääkimata tellijatest, väga raske hoomata, millised valikuvõimalused üldse olemas on.

Magistritöö teema valik toimus koostöös AMV HOUSE OÜ-ga. Nende huvi oli uurida, kuidas mõjutab elamu vahelagede maksumust, tootmismugavust ning paigaldamise lihtsust erinevate puitkonstruktsioonide kasutamine vahelagedes. Lisaks sooviti teada, kuidas mõjutab liimpuit- ja spoonliimpuittaladesse ning I-taladesse avade puurimine talade maksumust, kandevõimet ning läbipainet. Vaadeldavad silded on 4, 6 ja 7 meetrit. Erinevaid koormusolukordi on kaks tulenevalt niiske ruumi eripäradest ning huvipakkuv läbiviigu diameeter on 120 mm.

Antud lõputöö eesmärgiks ongi puit-metallsõrestikest, puidust I-taladest, liimpuittaladest ja spoonliimpuittaladest läbiviikude jaoks augustamise vajadusega vahelagede kandekonstruktsioonide võrdlus arvestades nii tala kandevõimet, läbipainet, vibratsiooni, paigaldamise lihtsust kui ka maksumust.

Hüpoteesiks on, et antud konstruktsioonitüüpidest on kõige odavam I-taladest ja kõige kallim spoonliimpuittaladest vahelagi. Kuid arvestades I-talade, liimpuit- ja spoonliimpuittalade augustamiseks kuluva lisa ajaga, on võimalik, et kokkuvõttes on majanduslikult kõige otstarbekam kasutada positalasid.

Magistritöö on jaotatud kolmeks peatükiks. Esimeses peatükis kirjeldatakse seni levinud teooriaid ja praktikaid erinevate puittalade augustamisest ning antakse ülevaade uuritavate talade tüüpidest, materjalidest ja projekteerimisjuhistest. Teises peatükis vaadeldakse konkreetseid arvutusmeetodeid vastavalt tala tüübile ja maksumuse arvestamise aluseid. Kolmandas peatükis tuuakse välja arvutustulemused, nende analüüs ja maksumuse võrdlus. Magistritöö lisades on toodud dimensioneerimise jaoks kasutatud programmide väljavõtted, kontrollarvutused ning juhised, millega tuleb erinevate talade kasutamisel ja augustamisel arvestada.

Puit-metallsõrestike ja liimpuittalade dimensioneerimiseks kasutatakse MiTeki programmi PAMIR ning I-talade ja LVL-talade dimensioneerimiseks kasutatakse programmi STEICOxpress.

Eesmärgi saavutamiseks on püstitatud järgmised ülesanded:

- selgitada välja erinevate vahelagede kandekonstruktsioonide eelised ja puudused;
- dimensioneerida kandekonstruktsioonid vastavalt kehtivatele nõuetele;
- määrata materjali ja tööjõukulu;
- hinnata vahelagede kandekonstruktsioonide maksumust;
- võrrelda ning analüüsida saadud tulemusi.

1. ÜLEVAADE KIRJANDUSEST

1.1 Varasemad uurimused

Varasemalt on tehtud elamute vahelagede konstruktsioonide ja maksumuse võrdluseid, kuid need on keskendunud kas laiemalt erinevatele toormaterjalidele või siis väga spetsiifiliselt paari konkreetse konstruktsioonitüübi kohta. Lisaks on varasemalt uuritud augustatud puitvahelagesid, kuid jällegi on olnud tegemist ühe konkreetse konstruktsioonitüübiga, näiteks tavalise saepuidu, liimpuidu või ristkihtliimpuiduga.

2014. aastal uuris P. Toomik augustatud puitprussist ja puitlaastplaadist liitristlõikega põrandatalasid. Töös kasutati Saksamaa standardis DIN 1052:2008 ja Ameerika Ühendriikide juhendis kirjeldatud meetodeid. Ta leidis, et avaga liitristlõike korral on ava servas tekkivad tõmbepinged oluliselt kriitilisemad kui tala läbipaine. Kuna erinevate meetodite tulemused olid väga erinevad, siis tõdes autor, et saematerjali puuritud avade mõjust paremini aru saada ja olemasolevate arvutusjuhendite rakendamise võimalikkust kontrollida, on vaja läbi viia põhjalikumad katsed ja tulemuste analüüs. [1]

Veel on 2015. aastal uuritud Eesti Maaülikoolis augustatud puittalasid. R. Kapp katsetas 3,9-meetrise sildega C24 tugevusklassi puittalasid, millesse oli tehtud 121 mm läbimõõduga avad vastavalt Norra iseseisva uurimisasutuse SINTEF 522.351 augustamise reeglitele, mis lubasid avasid teha ilma tugevduseta. Katsetulemused näitasid, et kuigi talade paindetugevused vastasid peale augustamist C24 puiduklassi paindetugevusele, siis talade läbipaine suurenes sama koormuse juures üle lubatud piiri. Seega võib öelda, et ilma tugevduseta ei või standardi SINTEF järgi teha saepuidust talasse avasid. Veel tehti katseid erinevate tugevdusmeetoditega. Kruvidega tugevdatud ava katse tulemused näitasid, et kruvid küll suurendasid sama läbipainde saavutamiseks rakendatud koormust, kuid elastsusomadused jäid siiski alla augustamata tala elastsusmoodulile. Kruvitud vineerplaadi ja terasest ümbrise puhul oli augustatud ja tugevdatud tala elastsusmoodul suurem kui augustamata taladel. Kuid statistiliselt oluliste tulemuste saamiseks ja tugevduslahenduste välja töötamiseks tuleb katseid korrata rohkemate katsekehadega. [2]

Üksikelamute vahelagede maksumuste võrdlus

Aastal 2015 on Eesti Maaülikoolis uuritud üksikelamute ning kahe ja enama korteriga elamute vahelagede maksumusi. Võrreldi kaheksat erinevat tüüpi vahelage. Puidupõhistest konstruktsioonitüüpidest oli esindatud tavaline puittaladel vahelagi,

ristkihtpuitvahelagi ning puit-betoonvahelagi. Lisaks võrreldi veel monteeritavast ja monoliitsest raudbetoonist, liitprofiilist, terasest ja teras-betoonist vahelage. Vaadeldavad silded olid 4, 6 ja 8 meetrit. 4-meetrise vahelae puhul osutus kõige odavamaks puitvahelagi. 6- ja 8-meetrise üksikelamu vahelae puhul oli odavam raudbetoonvahelagi, mis oli 6-meetrise silde puhul 13,2 % puitvahelaest soodsam ning 8-meetrise silde puhul koguni 46% soodsam, kuna 6 ja 8-meetrise silde puhul kasutati liimpuittalasid. Nii puidu, ristkihtpuidu, terase kui raudbetoonist põrandakonstruktsiooni dimensioneerimisel sai suuresti määravaks vibratsioon. [3]

Spoonliimpuittalade augustamine

Uus-Meremaal Chrischurch-is Canterbury ülikoolis uuris Manoochehr Ardalany doktoritöö raames spoonliimpuittalade augustamist ja avade tugevdamist. Katsetatud spoonliimpuit oli toodetud kohaliku ettevõtte poolt ja tarniti laborisse mõõtudega 8000 x 1200 x 45 mm. Tala paindejäikus oli 10,7 GPa, keskmine tihedus 573 kg/m³ ja puidu niiskus jäi testimise käigus vahemikku 8 – 10%. Puidu keskmine tõmbetugevus ristikiudu oli 2 MPa. Normatiivne nihketugevus 6 MPa, paindetugevus 48 MPa, survetugevus ristikiudu 12 MPa. Avastati, et talas, kus avade diameeter on suurem kui 50 mm (diameeter jääb vahemikku 0,3 – 0,6 tala kõrgust), väheneb tala kandevõime domineeriva nihkejõu piirkonnas 10 - 52%. Purustav jõud oli 8 – 46% suurem kui jõud, mille korral tekkisid praod. Töös keskenduti ka pragusid tekitava jõu prognoosimisele. See on oluline, kuna pragunemist vältides ei ole vaja talasid tugevdada. Uurimusest tuli välja, et kõige paremini hoidis pragude teket ära vineerplaadi kinnitamine tala mõlemale küljele ja isepuurivate kruvidega ava tugevdamine, mis lubasid talasse teha avasid kuni poole tala kõrguse ulatuses. Kruvide ja epoksiidliimiga kruvidega ava tugevdamine ei hoidnud ära pragude teket, kuid vähendas efektiivselt pragude arenemist talades, mille ava suurus ei ületanud 0,4 tala kõrgusest. [4]

Kokkuvõtteks võib öelda, et on uuritud augustatud saepuidust talade tugevdamise võimalusi. Mõlema töö puhul jõuti järelduseni, et tugevduslahenduste väljatöötamiseks on vaja viia läbi rohkem katseid. Mõlemad augustatud taladega seotud magistritööd sündisid koostöös Eesti ühe suurema puitkarkassmaju tootva ettevõttega Kodumaja AS. Vastavalt Euroopa tehnilisele hinnangule (ETA 08/0178) kasutavad nad 2015. aasta sügisest vahelagedes Masonite I-talaseid. Sellest võib järeldada, et leiti lihtsam alternatiiv talade tugevdamisele puidust I-talade näol, mida on tunduvalt lihtsam augustada. Kuna varasemates töödes ei ole võrreldud augustatud talade töötlemise kulukust, siis antud lõputöö eesmärgiks ongi leida lihtsamaid alternatiive tugevdatud taladele ja võrrelda nende maksumust. Kuna T. Neeme töös sai vibratsioon puidust vahelaekonstruktsioonide puhul suuresti määravaks, siis kontrollitakse ja võrreldakse

erinevate talatüüpide vibratsiooni ja läbipainet. Tema töös on küll võrreldud vahelagede maksumusi, kuid arvestades tänapäeva puidust konstruktsioonide mitmekesisust ja eripärasid ning vajadust vedada kommunikatsioone läbi vahelagede, on käesolev magistritöö vägagi aktuaalne.

1.2 Puittalade tüübid ja materjal

Kuna antud töö eesmärgiks on võrrelda puidust vahelaekonstruktsioonitüüpide maksumusi, kuhu oleks võimalik lihtsa vaevaga paigutada kommunikatsioone, siis jäi välja ristkihtpuit. T. Neeme magistritöös tuli välja, et juba 6-meetrise sildega ristkihtpuidust vahelagi on üsna väikeste koormuste korral kallim kui liimpuidust vahelagi ning kommunikatsioonide jaoks kasutatakse näiteks ripplae lahendust.

1.2.1 Lamell-liimpuit

Lamell-liimpuit ehk inglise keeles *glued laminated timber* valmistatakse vähemalt kahe paralleelsete kiudude suunaga puitlamelli kokku liimimisel ilmastikukindla liimiga (vt Joonis 1.1). Element võib sisaldada ühte või kahte külgnevat lamelli paksusega 6-45 mm, mis ühendatakse pikikiudu sõrmjätkudega. [5]

Antud töös vaadeldakse homogeenset lamell-liimpuitu (edaspidi liimpuit), mille lamellide paksus on 40 mm.



Joonis 1.1 Lamell-liimpuittala

1.2.2 Spoonliimpuit

Spoonliimpuit (edaspidi LVL) ehk inglise keeles *laminated veneer lumber* valmistatakse 3 mm paksuste kuusespoonide kokku liimimisel ilmastikukindla liimiga. Vineeri kihid võivad olla kokku liimitud tala pikkuse suunas pikikiudu (tüüp P) või nii, et ligikaudu 20% spoonidest asetsevad risti (tüüp C), vt Joonis 1.2. Spoonliimpuit on tugevuse ja kaalu suhte poolest kaks korda tugevam kui teras. Seda loetakse keskkonnasõbralikuks materjaliks, kuna spoonliimpuit talletab 789 kg süsinikdioksiidi ühe kuupmeetri kohta. Euroopa suurimad spoonliimpuidu tootjad on Metsä Wood, Steico ja Stora Enso. [6]



Joonis 1.2 Spoonliimpuittala ja plaadid. Tüüp C ehk ristuvate kihtidega plaat vasakul ja tüüp P ehk ühes suunas spoonikihtidega tala paremal [6].

Metsä Wood KERTO talade valikus on kahte tüüpi talasid. Kerto-S talades asetsevad puidu pikikiud spoonikihtides paralleelselt tala pikkusega, Kerto-Q talades asetsevad ligikaudu 20% spoonikihtidest ristikiudu. [7]

Steico LVL-taladid on kahte põhitüüpi. Steico LVL-R on sama põhimõttega, mis Kerto-S ning LVL X-i kasutatakse paneelina ja selles on ligikaudu 20% spoonikihtidest teiste suhtes risti. [8]

Stora Enso tootevalikus on kolm põhitüüpi spoonliimpuidust tooteid: S-tüüpi talades asetsevad spoonikihid sarnaselt Kerto-S tüüpi taladele; X-tüüpi paneelides asetsevad osad spoonikihid ristikiudu ning T-tüübil paiknevad kergemad spoonikihid ühes suunas ning neid kasutatakse siseseintes postidena [9].

Erinevate tootjate spoonliimpuittalade parameetrid on toodud allpool. Parameetrite selgitavad joonised on toodud Lisa 3-s.

Tabel 1.1 Spoonliimpuittalade põhiparameetrid

Põhiparameetrid	Tähis	Joonis	Ühik	STEICO LVL R	Stora Enso LVL S	Kerto LVL S	Kerto LVL Q
Paindetugevus							
Serviti, pikikiudu	$f_{m,0,edge,k}$	A	N / mm ²	44	44	44	32
Tõmbetugevus							
Ristikiudu, serviti	$f_{t,90,edge,k}$	F	N / mm ²	0,9	0,8	0,8	6,0
Survetugevus							
Ristikiudu, serviti	$f_{c,90,edge,k}$	H	N / mm ²	7,5	6,0	6,0	9,0
Nihketugevus							
Serviti, pikikiudu	$f_{v,0,edge,k}$	J	N / mm ²	4,6	4,1	4,1	4,5
Elastsusmoodul							
pikikiudu	$E_{0,mean}$	A C	N / mm ²	14000	13800	13800	10500
Nihkemoodul							
Serviti, pikikiudu	$G_{0,edge,mean}$	J	N / mm ²	600	600	600	600
Tihedus							
Keskväärtus	$\rho_{g,mean}$	-	kg / m ³	550	510	510	510

1.2.3 I-talad

I-tala on puidupõhine komposiitkonstruktsioon, mis koosneb vastavalt tootjatest hõõvelpuidust või spoonliimpuidust vöödest ja puitkiud- või laastplaadist seinast, vt Joonis 1.3. Euroopast ekspordivad I-taladid Põhjamaadesse ja Eestisse kolm suurt ettevõtet: Masonite Beams AB Rootsis al 1974, STEICO SE Poolas al 1988 ja Metsä Group Soomes al 2002. [10]



Joonis 1.3 Steico I-tala [11]

Metsä Wood Finnjoisti I-talade vööd on tehtud spoonliimpuidust (Kerto LVL) laiusega 34-96 mm ja kõrgusega 36-45 mm ja tala sein OSB/3 plaadist. Tala kõrgused on vahemikus 160 – 600 mm. Kokku on tootevalikus 3 erinevat vöö kõrgus, 9 erinevat tala laiust ja kõrgus, kokku seega $3*9*9 = 243$ erinevat tala. [12] Hämmastav ja mõtlemapanev, kas neid kõiki ka toodetakse ja nii täpselt dimensioneeritakse, et erinevusi päriselt ka realiseerida saaks.

Masonite talad on höövelpuidust vöödega, mille kõrgused on vahemikus 45 - 60 mm ja seinaks 10 mm paksune OSB/3 või puitlaastplaat tüüp P5. Vööde laiused on vastavalt talatüüpidele 47(H)/60(HM)/70(HI)/97(HB) mm. ETA 12-0018-s on antud kõigi vööde tugevusklassiks C30, kuid on märgitud, et talatüüpe H, HM ja HB valmistatakse ka tugevusklassist C24 vöödega. ETA järgi on võimalike talatüüpide arv üsna suur: 9 erinevat tala kõrgust *4 tala laiust * 2 seinatüüpi = 72 erinevat C30 vöödega tala, millele lisandub tõenäoliselt $9*3*2 = 54$ C24 vöödega tala, ehk kokku 126 erinevat tüüpi. [13]

STEICO talasid on kombineeritud höövelpuidust vöödega kõrgus 45 mm, laius 45/60/90 mm või spoonliimpuidust vöödega kõrgusega 39/36/33 mm, laiusega 45/60/70/80/90 mm ning seinaks on kas OSB/3, OSB/4 või kõva puitkiudplaat HB.HLA1. Talasid tuleks installatsiooni käigus märgumise eest kaitsta. ETA-06/0238 järgi on võimalike kombinatsioonide arv seega: $(9+11+11+14)$ kõrgust * 5 laiust * 2 seinatüüpi = 202. [14]

1.2.4 Puitmetallsõrestik

Puitmetallsõrestik, kõnekeeles tuntud kui positala, koosneb puitvöödest ning neid pressimise teel ühendavatest metallvarrastest. Sageli on positalade otstesse ja keskele lisatud puidust postid, mis on ühendatud ogaplaatidega vööde külge (vt Joonis 1.4). Veel on MiTeki positala tehnilises käsiraamatus välja toodud, et üle nelja meetriste talade korral tuleb kasutada taladega ristisuunas asetsevaid jäikussidemeid. Jäikussidemed on vajalikud tala paindejäikuse suurendamiseks ja talaga ristisuunas mõjuvate koormuste edasi kandmiseks. [15] Positalade puhul on tegemist sõrestikuga, millest saab lihtsa vaevaga põhimõtteliselt terve tala ulatuses sobivast kohast kommunikatsioone läbi vedada, kartmata tala nõrgestamist. Positalasid toodetakse kõrgusega: 198, 221, 249, 300, 369 ja 417 mm. Positalade otsad on võimalik ühendada neljal erineval viisil (Joonis 1.5):

- tavaline ots – positala lõppeb ühe või enama postiga;

- lahtine ots – positala alumine vöö lõpeb varem kui ülemine vöö;
- hambaga ots – positala lõpeb vähemalt kahe postiga, kus välimine post on lühem tala kogukõrgusest;
- reguleeritav ots – positaladele saab lisada tala otsa täispuidust ploki, mis võimaldab ehitusplatsil mõlemat otsa reguleerida 130 mm ulatuses. [16]



Joonis 1.4 Positalad [16]

Positalade kasutamiseks kergplokseintega on Vesmont Majakeskus OÜ välja pakkunud 6 erinevat sõlme, mis on toodud lisades (Lisa 7) [17].



Joonis 1.5 Positala erinevad otsalahendused. Vasakult tavaline, lahtine, hambaga ja reguleeritava kaugusega ots. [18]

Eesti turul tegutseb mitmeid MiTeki poolt sertifitseeritud positalade tootjaid. Mõned tuntumad tootjad Eestis on Alusehitus OÜ, AMV GRUPP OÜ, Natural AS, TrussTek OÜ ja Vesmont Majakeskus OÜ. Kokku on Eestis MiTek Baltik kodulehel märgitud 14 positalade või ogaplaatfemide tootjat [19].

1.2.5 Niiskus

Antud töös vaadeldavad talad kuuluvad kasutusklassi 1. Järgnevalt on välja toodud erinevate tootjate nõuded ja/või näitajad seoses talade niiskusega ja niiskumisega.

Stora Enso ja Kerto LVL-tala niiskus on 8-10%, Steicol ca 9% toote väljastamisel. Tooteid tuleb kaitsta transpordi ja ladustamise käigus vihma ja pritsmete põhjustatud niiskuse suurenemise eest. [7-9,19]

Finnjoist I-talad võivad olla ilmastiku tingimustele avatud lühikese aja jooksul installatsiooni käigus [12]. Masonite I-talade niiskus on tootmise ajal vöodes 12-18 % ja seinas 8%. Temperatuuri ja suhtelise õhuniiskuse muutumisel muutub ka tala niiskus pidevalt. Talad võivad olla lühikese aja jooksul installatsiooni käigus ilmastiku tingimustele avatud. [13] Steico talasid tuleb kaitsta ilma põhjustatud niiskuse muudatuste eest ning talad tuleb katta, kuid tagada tuleb õhu juurdepääs [14].

1.2.6 Tulepüsivus ja tuletundlikkus

Stora Enso, Kerto ja Steico spoonliimpuidu tuletundlikkusklass on D-s1, d0 [8, 9, 18]. Finnjoisti, Masonite ja Steico I-talade ning positalade tuletundlikkusklass on D-s2, d0 [12, 13, 20]. Ehk kergtalade põlemisel eritub rohkem suitsu kui liimpuittalade põlemisel, mis on loogiline, kuna kergtalade seiniosa sisaldab liime, mis tekitabki põlemisel suurema suitsuerituse kui massiivsematel liimpuittaladel.

Tulele avatud olukorras on kõige kehvemas seisus positalad, kuna terasest plaatide kandevõime kaob temperatuuri tõustes kõige kiiremini. I-talade õhuke (8-10 mm) seiniosa põleb samuti rutem läbi kui massiivsed liimpuit- ja spoonliimpuittalad.

Tulepüsivuse tagamiseks on

1.3 Projekteerimisjuhendite ülevaade

1.3.1 Lamell-liimpuidu ristkülikristlõikega tala arvutus kandepiirseisundis

Ristlõike dimensioneerimisel on aluseks võetud EVS-EN 1995-1-1:2005+A1+NA+A2 „Eurokoodeks 5: Puitkonstruktsioonide projekteerimine Osa1-1“. Kandepiirseisundis on teostatud painepinge, nihkepinge ja toe muljumise kontroll. Kasutuspiirseisundis on teostatud läbipainde ja vibratsiooni kontroll. Vibratsiooni kontrollis lähtutakse Eurokoodeks 5 Eesti rahvuslikust lisast NA.7.3.3(2). [6, 21]

Paindepinge sildeava keskel peab rahuldama järgmist tingimust:

$$\sigma_{m,d}/f_{m,d} \leq 1, \quad (1.1)$$

kus $\sigma_{m,d}$ – arvutuslik paindepinge $\sigma_{m,d} = M_{d,max}/W_y$, N/mm²,

$M_{d,max}$ – arvutuslik paindemoment, kN*m,

W_y – ristkülikulise ristlõike vastupanumoment $W_y = b*h^2/6$, mm³,

$f_{m,d}$ – arvutuslik paindetugevus, N/mm² ja on arvatav järgmiselt:

$$f_{m,d} = \frac{k_{mod} * f_{m,k} * k_h * k_{sys}}{\gamma_M}, \quad (1.2)$$

kus k_{mod} – koormuse kestuse ja niiskuse mõju arvestav modifikatsioonitegur, $k_{mod} = 0,8$,

$f_{m,k}$ – normatiivne paindetugevus, N/mm²,

k_{sys} – süsteemi tugevuse tegur pideva koormusjaotuse süsteemi korral,

$k_{sys} = 1,1$,

γ_M – materjali omaduste osavarutegur, mis võtab arvesse ka mudeli määramatusi ja mõõdete varieeruvust, liimpuidul $\gamma_M = 1,25$,

k_h – ristlõike kõrguse tegur paindel ja on arvatav järgmiselt:

$$k_h = \min \left\{ \begin{matrix} 1,1 \\ \left(\frac{600 \text{ mm}}{h} \right)^{0,1} \end{matrix} \right., \quad (1.3)$$

h – tala kõrgus, mm.

Nihkepinge peab rahuldama järgmist tingimust:

$$\tau_d/f_{v,d} \leq 1, \quad (1.4)$$

kus $f_{v,d}$ – arvutuslik serviti nihketugevus, N/mm² ja on arvatav järgmiselt:

$$f_{v,d} = \frac{k_{mod} * f_{v,k} * k_{sys}}{\gamma_M}, \quad (1.5)$$

$f_{v,k}$ – normatiivne serviti nihketugevus, N/mm²,

τ_d – arvutuslik nihkepinge, N/mm² ja on arvatav järgmiselt:

$$\tau_d = \frac{1,5 * V_d}{b * h}, \quad (1.6)$$

kus V_d – arvutuslik nihkejõud, kN
 b – tala laius, mm.

Surve ristikiudu ehk toe muljumine peab rahuldama järgmist tingimust:

$$\sigma_{c,90,d}/f_{c,90,d} \leq 1, \quad (1.7)$$

kus $\sigma_{c,90,d}$ – arvutuslik ristikiudu survepinge $\sigma_{c,90,d} = V_d / A_{ef}$, N/mm²,
 A_{ef} – efektiivne kontaktpind ristikiudu survele $A_{ef} = b * (l_{sup} + 30 \text{ mm})$, mm²,
 l_{sup} – toe tegelik kontaktpind, mm,
 $f_{c,90,d}$ – arvutuslik ristikiudu survetugevus, N/mm² ja on arvatav järgmiselt:

$$f_{c,90,d} = \frac{k_{mod} * f_{c,90,k} * k_{sys} * k_{c,90}}{\gamma_M}, \quad (1.8)$$

$k_{c,90}$ – koormuse konfiguratsiooni arvestav tegur $k_{c,90} = 1,75$ (kasutusklass 1).

1.3.2 Lamell-liimpuidust ristkülikristlõikega tala kasutuspiir seisundis

Läbipainete kontroll

Tala hetkeline läbipaine peab olema väiksem kui lubatud hetkeline läbipaine:

$$\frac{w_{inst}}{w_{inst,al}} \leq 1, \quad (1.9)$$

kus w_{inst} – hetkeline läbipaine $w_{inst} = w_{inst,G} + w_{inst,Q}$, mm, (1.10)

$w_{inst,al}$ – lubatud hetkeline läbipaine $w_{inst,al} = l_{ef} / 400$, mm, (1.11)

l_{ef} – tala efektiivne pikkus.

$w_{inst,G}$ – hetkeline läbipaine alalisest koormusest, mm,

$w_{inst,Q}$ – hetkeline läbipaine muutuvkoormusest, mm.

Hetkelised läbipainded on arvatavad järgmiselt:

$$w_{inst,G} = \frac{5}{384} g_k * s \frac{l_{ef}^4}{E_{mean} I_y} + \frac{M_{y,g,k}}{G_{mean} A} \text{ ja} \quad (1.12)$$

$$w_{inst,Q} = \frac{5}{384} q_k * s \frac{l_{ef}^4}{E I_y} + \frac{M_{y,q,k}}{G_{mean} A}, \quad (1.13)$$

kus l_{ef} – tala efektiivpikkus, mm,

g_k – konstruktsioonile mõjuv normatiivne alaline koormus, kN/m²,

q_k – konstruktsioonile mõjuv normatiivne muutuvkoormus, kN/m²,

s – talade samm, mm,

$M_{y,g,k}$ – tala normatiivne paindemoment alalisest koormusest, kN*m,

$M_{y,q,k}$ – tala normatiivne paindemoment muutuvkoormusest, kN*m,
 E_{mean} – tala elastsusmooduli keskväärtus, N/mm²,
 I_y – inertsimoment tugevama telje suhtes, mm⁴,
 G_{mean} – tala nihkemooduli keskväärtus N/mm²,
 A – tala ristlõike pindala $A=bh$, mm².

Tala lõplik läbipaine peab olema väiksem kui lubatud lõplik läbipaine

$$\frac{w_{net,fin}}{w_{net,fin,al}} \leq 1, \quad (1.14)$$

kus $w_{net,fin}$ – lõplik läbipaine $w_{net,fin} = w_{fin,G} + w_{fin,Q}$, mm, (1.15)

$w_{net,fin,al}$ – lubatud lõplik läbipaine $w_{net,fin,al} = l_{ef} / 300$, mm, (1.16)

$w_{fin,G}$ – lõplik läbipaine alalisest koormusest $w_{fin,G} = w_{inst.G}(1+k_{def})$, mm, (1.17)

$w_{fin,Q}$ – lõplik läbipaine muutuvkoormusest $w_{fin,Q} = w_{inst.Q}(1 + \psi_2 * k_{def})$, (1.18)

mm,

k_{def} – roome ja niiskuse koosmõjust tekkinud deformatsioonide ajas arvestav tegur $k_{def} = 0,6$

ψ_2 – muutuva koormuse tõenäolise väärtuse kombinatsioonitegur $\psi_2=0,3$.

Vibratsioon

Eesti rahvuslikus lisan on kirjas, et kui elu- ja kontoriruumide pörandakonstruktsioonide põhisagedus $f_1 \geq 9$ Hz, siis kontrollitakse koondatud koormuse 1 kN poolt põhjustatud suurimata pörandakonstruktsiooni läbipainet juhul, kui tellijaga ei ole teisiti kokku lepitud. Seega vibratsiooni põhisagedus peab vastama järgmisele tingimusele:

$$f_1 = \frac{\pi}{2l_{sille}^2} * \sqrt{\frac{(EI)_l}{m}} \geq 9 \text{ Hz}, \quad (1.19)$$

kus l_{sille} – pörandasildeava, m,

m – pörandasildeava omakaalust ja pikaajalisest kasuskoormusest ($\psi_2 * q_k$) leitud mass pindala ühiku kohta, kg/m², $m=(g_k + \psi_2 * q_k)/9,8$ N/kg,

$(EI)_l$ – pörandasilde l_{sille} suunas vastav paindejäikus laiusühiku kohta, Nm²/m ja on arvutatav järgmiselt:

$$(EI)_l = \frac{E_{mean} * I_y}{s}. \quad (1.20)$$

Siin koormusjaotusplaadi paindejäikust ei arvestata, sest see on marginaalne võrreldes tala enda paindejäikusega.

Kui tingimus (1.19) on täidetud, siis kontrollitakse, et oleksid täidetud järgmised tingimused juhul, kui tellijaga ei ole teisiti kokku lepitud:

$$\delta \leq \delta_{adm} = \begin{cases} 1 \text{ mm} & \text{kui } L \leq 2 \text{ m} \\ (1,25-0,125L) & \text{kui } 2 \text{ m} < L < 6 \text{ m,} \\ 0,5 \text{ mm} & \text{kui } L \geq 6 \text{ m} \end{cases} \quad (1.21)$$

kus L – ruumi suurim pikkusmõõde, m,

δ – koondatud koormuse $F = 1$ kN poolt põhjustatud suurim pörandakonstruktsiooni läbipaine, mm ja arvutatakse järgmiselt:

$$\delta = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{F * l_{sille}^2}{42 * k_{\delta} * (EI)_l}, \\ \frac{F * l_{sille}^3}{48s(EI)_l} \end{array} \right. , \quad (1.22)$$

kus

$$k_{\delta} = \sqrt[4]{\frac{(EI)_b}{(EI)_l}}, \quad (1.23)$$

kus $(EI)_b$ - pörandala laiuse b suunas vastav paindejäikus pikkusühiku kohta, Nm^2/m ja on arvutatav järgmiselt:

$$(EI)_b = \frac{E_{m,mean} * b_{plaat} * h_{plaat}^3}{12 * s_{plaat}}, \quad (1.24)$$

1.3.3 Lamell-liimpuidust tala nõrgestatud ristlõike kontroll

Kuna hetkel kehtivas Eurokood 5-s ei ole eraldi augustatud talade arvutamiseks juhiseid, siis antud töös vaadeldakse Saksa rahvusliku lisa ja Rootsi liimpuidukäsiraamatu juhiseid ja piiranguid augustatud talade geomeetrialet.

2016 aastal välja antud Rootsi liimpuidu käsiraamatu juhised põhinevad Saksa rahvuslikul lisal DIN EN 1995-1-1+NA:2013. Käsiraamatus on ava geomeetrialet kehtestatud järgnevad piirangud:

- tugevdamata ava kõrgus võib talas olla maksimaalselt 0,15 tala kõrgust,
- sisemise tugevdusega (nt kruvid) ava kõrgus kuni 0,3 tala kõrgust ja
- välimise tugevdusega (vineer, metall) ava kõrgus kuni 0,4 tala kõrgust. [22, 23]

1.3.4 LVL ristkülikristlõikega tala arvutus kandepiiriseisundis

Sarnaneb liimpuidust ristkülikristlõikega tala arvutusele kandepiiriseisundis, mis on toodud peatükis 1.3.1. Mõned erinevused on seoses materjali omadustest sõltuvatel teguritel, mis on toodud järgnevalt:

Materjali omaduste osavarutegur on spoonliimpuidul $\gamma_M = 1,2$,

ristlõike kõrguse tegur paindel k_h on spoonliimpuidu puhul arvutatav järgmiselt:

$$k_h = \min \left\{ \frac{1,1}{\left(\frac{300 \text{ mm}}{h}\right)^{0,15}}, \right. \quad (1.25)$$

$k_{c,90}$ – koormuse konfiguratsiooni arvestav tegur $k_{c,90}=1,2$ (kasutusklass 1).

1.3.5 LVL ristkülikristlõikega tala kasutuspiiriseisundis

Spoonliimpuidust ristkülikristlõikega tala arvutus kasutuspiiriseisundis on sarnane arvutusele, mis on toodud peatükis 1.3.2.

1.3.6 LVL ristlõike nõrgestatud ristlõike kontroll

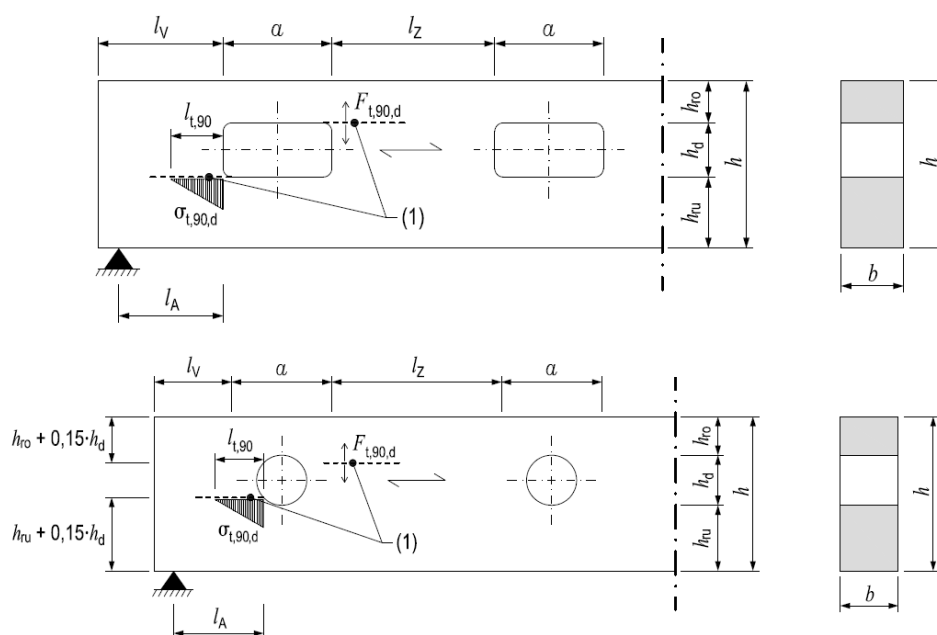
Soome spoonliimpuidu käsiraamat

Antud töös kasutatakse Soomes spoonliimpuidu jaoks välja töötatud käsiraamatut: „LVL Handbook Europe“. Käsiraamat põhineb Austria rahvuslikul lisal, mis ei ole Eurokood 5-ga vastuolus (ehk inglise keeles *non-conflicting complementary instructions (NCCI) for Eurocode 5*) ja seda võib kohaldada augustatud LVL-taladele, mis asuvad kasutusklassis 1 või 2. Lisaks on juhendis öeldud, et LVL-talade tootjatel on igaühel enda tehnilised dokumendid, kus on täpsemad juhised talade augustamiseks koos ava geomeetriliste piirangutega. [6]

Ava geomeetriast tulenevad piirangud LVL käsiraamatu järgi (Tabel 1.2) ning ava parameetrite tähistused (Joonis 1.6). Nagu tabelist näha, on risti asetsevate lamellidega talade puhul (LVL-C) augustamise nõuded leebemad, kuna risti asetsevad lamellid töötavad tugevdusena.

Tabel 1.2 Ava geomeetria piirangud [6].

Toote tüüp	l_v	l_A	l_z	h_{ro} ja h_{ru}	a	d
LVL-P	$\geq h$	$\geq 0,5 h$	Max ($\geq 0,5 h$; 300 mm)	$\geq 0,35 h$	$\leq 2,5 d$	$\leq 0,15 h$
LVL-C				$\geq 0,25 h$		$\leq 0,4 h$



Joonis 1.6 Ava parameetrite tähistus LVL käsiraamatus [6].

Vastavalt LVL käsiraamatule tuleb ristikiudu tõmbepingeid kontrollida valemiga (1.26) ja nihketugevus valemiga (1.32), kui ava diameeter on suurem kui 50 mm või kümnendik tala kõrgusest.

$$\sigma_{t,90,d} = \frac{F_{t,90,d}}{0,5 * l_{t,90} * b * k_{t,90}} \leq f_{t,90,d}, \quad (1.26)$$

kus b – tala laius, mm,

$f_{t,90,d}$ – puidu arvutuslik tõmbetugevus ristikiudu, N/mm² ja on arvatav järgmiselt:

$$f_{t,90,d} = \frac{f_{t,90,k} * k_{mod} * k_{sys}}{\gamma_M}, \quad (1.27)$$

$f_{t,90,k}$ – tala normatiivne tõmbetugevus ristikiudu, N/mm²,

k_{mod} – koormuse kestuse ja niiskuse mõju arvestav modifikatsioonitegur,

$k_{mod} = 0,8$

$k_{t,90}$ – varutegur, mis suurendab üle 450 mm kõrguste talade puhul avaga ristlõikes tekkivaid pingeid ja on arvatav järgmiselt:

$$k_{t,90} = \min \left\{ \frac{1}{\left(\frac{450}{h}\right)^{0,5}}, \right\} \quad (1.28)$$

h – tala kõrgus, mm.

$l_{t,90}$ – pingekolmnurga eeldatav pikkus ristikiudu tõmbepinge korral, mm ja on ümmarguse ava puhul arvatav järgmiselt:

$$l_{t,90} = 0,35d + 0,5h, \quad (1.29)$$

kus d – ava diameeter, mm,

$F_{t,90,d}$ – arvutuslik tõmbejõud ristikiudu, N ja on arvutatav järgmiselt:

$$F_{t,90,d} = \frac{V_{E,d,hole} * d}{4h} * \left[3 - \left(\frac{d}{h} \right)^2 \right] + 0,008 * \frac{M_{d,hole}}{h_r}, \quad (1.30)$$

$V_{E,d,hole}$ – arvutuslik nihkejõud nõrgestatud lõikes, kN,

$M_{d,hole}$ – arvutuslik paindemoment nõrgestatud ristlõikes, kNm,

h_r – on ümmarguste avade puhul arvutatav järgmiselt:

$$h_r = \min(h_{ro} + 0,15d; h_{ru} + 0,15d) \quad (1.31)$$

h_{ro} – on ava kohale jääva puitosa kõrgus, mm,

h_{ru} – on ava alla jääva puitosa kõrgus, mm,

Nihketugevuse kontroll

$$\tau_d = k_\tau * \frac{1,5 * V_d}{b(h-d)} \leq f_{v,d}, \quad (1.32)$$

kus k_τ – tegur, mis määrab maksimaalse nihkepinge pingekontsentratsiooni korral ja on ümmarguste avade korral arvutatav järgmiselt:

$$k_\tau = 1,85 * \left(1 + \frac{a}{h} \right) * \left(\frac{d}{h} \right)^{0,2}, \quad (1.33)$$

a – ava pikkus, ümmarguse ava puhul $a = d$.

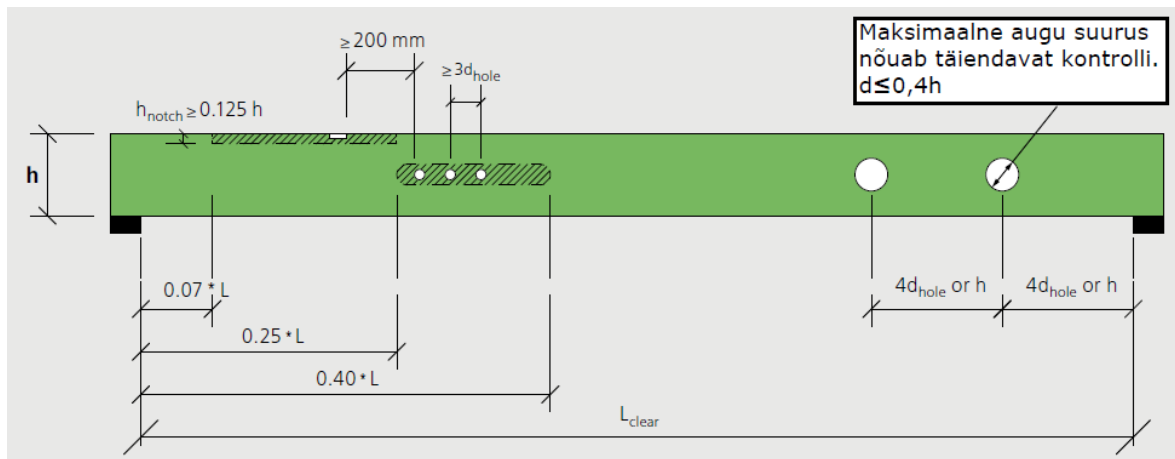
Canterbury Ülikoolis tehtud doktoritöös keskenduti muuhulgas nõrgestatud ristlõikes pragusid tekitava jõu prognoosimisele ja nihkejõu prognoosimisele tugevduselemendis augu lähedal. Tugevduselementideks olid isepuurivad SPAX kruvid, epoksiidliimiga metallvardad, liimitud ning kruvitud vineerplaat ja 1,16 mm paksune naelutatud terasplaat. Tugevduse dimensioneerimiseks välja pakutud valem ühtis kõige paremini kuni 400 mm kõrguste talade katsetulemusega. Töös selgus, et maksimaalselt 40% tala kõrguse ulatuses tehtud avade puhul toimus sisemine tugevdus efektiivselt. Vineeriga tugevdamine mõlemalt poolt tala andis paljulubavaid tulemusi, hoides ära pragude tekkimise suuremate avade (kuni 50% tala kõrgusest) puhul ning taastades kandevõime augustamata tala tasemele. [4]

STEICO LVL-R talas on kiudude suund ühesugune ja Soome spoonliimpuidu käsiraamatu järgi võiks tugevdamata talasse teha maksimaalselt avasid, mis on 0,15 tala kõrgust. Steico lubab teha 0,4 tala kõrguses tugevdamata avasid vastavalt Inglismaal avaldatud dokumendile PD 6693-1:2012, mis ei ole vastuolus Inglismaa standardi EN 1995-1-1 rahvusliku lisaga. Järgnevalt on välja toodud tala augustamise piirangud ja nõuded vastavalt 2018. aasta STEICO tehnilisele juhendile. [11]

Kui tala kõrgus on alla 250 mm ja samm ei ületa 610 mm, siis väikese ava mõju pole vaja arvestada, kui ava diameeter ei ületa 25% tala kõrgusest.

Kui nõrgustus ei vasta eelnevatele nõuetele, tuleb seda kindlasti kontrollida ja ümmargune ava peab vastama järgmistele nõuetele:

- maksimaalne ava suurus on 40% tala kõrgusest ehk $d \leq 0,4h$;
- ava tsepter asub tala keskel ehk nii ava peale kui alla jääv osa on sama suured;
- minimaalne ava tsentri kaugus tala lähimast otsast on vähemalt neljakordne ava läbimõõt ja tala kõrgus;
- kahe ava tsentrite vahekaugus on vähemalt neljakordne suurema ava läbimõõt ja tala kõrgus;
- konstruktsiooni kontroll, mis tuleb teha, on täpsemalt kirjas PD 6693-1:2012 lõige 11. [11]



Joonis 1.7 STEICO LVL-R talade augustamise piirangud. [11]

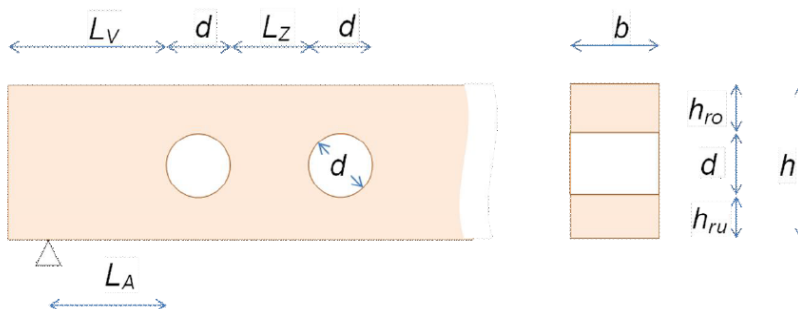
Metsä Woodi Kerto LVL-talade Soome tehnikauuringute keskuse väljastatud sertifikaat VTT nr 184/03 sisaldab projekteerimisjuhiseid, mis on kooskõlas standard EN 1995-1-1-ga [7].

Kerto-S talas asetsevad kõik vineerikihid pikikiudu tala pikkuse suhtes ja ümmarguste avadele kehtestatud nõudmised on VTT 184/03 põhjal järgmised:

- Ümmarguste avade puhul peab ava serva kaugus tala otsast olema vähemalt tala kõrguse kaugusel ($L_v \geq h$);
- ava serva kaugus toe keskpunktist vähemalt poole tala kõrguse kaugusel ($L_A \geq 0,5h$);
- ava maksimaalne läbimõõt võib olla 70% tala kõrgusest;
- tala keskel asuva ava alla h_{ru} ja peale h_{ro} peab jääma vähemalt 15% tala kõrgusest;

- tala keskteljest eemal asetseva ava korral peab ava alla ja peale jääma vähemalt 25% tala kõrgusest;
- kahe ava vahekaugus L_z peab olema vähemalt pool tala kõrgusest ja kahekordne suurema ava läbimõõt. [7]

Tähiste selgitused on toodud Joonis 1.8-l.



Joonis 1.8 Kerto talade augustamise juhendi tähised [7].

Ristikiudu tõmbepinged nõrgestatud ristlõikes peavad rahuldama järgmist tingimust:

$$\sigma_{t,90,d} = \frac{F_{t,90,d}}{0,5 * l_{t,90} * b} \leq 0,85 * f_{t,90,d} * k_{hole} * k_{space} * k_{t,90}, \quad (1.34)$$

kus k_{hole} on vähendustegur ja ümmarguste avade puhul arvutatav järgmiselt:

$$k_{hole} = \min \left\{ 1 - 1,5 * \frac{d - 0,5h}{0,5h}, \right. \quad (1.35)$$

k_{space} on vähendustegur ja ümmarguste avade puhul arvutatav järgmiselt:

$$k_{space} = \min \left\{ \begin{array}{l} 1 - 0,8 * \frac{h - L_z}{h}, \\ 1 - 0,8 * \frac{4d - L_z}{4d} \end{array} \right. \quad (1.36)$$

$$k_n = \begin{cases} 6 - \text{Kerto-S, serviti} \\ 16 - \text{Kerto-Q, serviti} \end{cases} \quad (1.37)$$

Paindepinge ava tsentris peab rahuldama järgmist tingimust:

$$\sigma_{m,d,h} / f_{m,d} \leq 1, \quad (1.38)$$

kus $\sigma_{m,d,h}$ – arvutuslik paindepinge ava tsentris, kui ava asub tala keskteljel, N/mm² ja on arvutatav järgmise valemiga:

$$\sigma_{m,d,h} = \frac{M_{d,hole} * h}{2I_{red}}, \quad (1.39)$$

$I_{red,h}$ – redutseeritud inertsimoment, mis ümmarguse ava puhul on arvutatav järgmise valemiga:

$$I_{red,h} = \frac{b}{12} (h^3 - d^3). \quad (1.40)$$

Kerto-Q taladesse võib teha ümmargusi avasid, mis on maksimaalselt 70% tala kõrgusest. Kuna Kerto - Q talades asetsevad ligikaudu 20% spoonidest ristikiudu, siis kehtivad augustamisel samad piirangud, mis S-talale. Ainult ristikiudu tõmbepingete kontroll pole vajalik, kuna Kerto-Q tõmbetugevus ristikiudu on piisavalt suur, et takistada võimaliku prao arengut tala kandevõime kaoni. Ava paiknemise kohta on öeldud, et ava peab asuma tala keskteljel. Kui ava asub keskteljest eemal, siis tuleb arvestada lisanduvate piirangutega. Üksiku ava mõju tala läbipaindele on minimaalne ja seda ei pea arvestama. Rohkem kui ühe ava korral tuleb avade mõju läbipaindel arvesse võtta. [25]

Stora Enso LVL-S augustamise reeglid vastavalt tehnilisele brošüürile, mis põhineb inglismaa avalikustatud dokumendil PD 6693-1:2012 ja mis ei ole Eurokoodeks 5-ga vastuolus [9].

Ümmargusele avale kehtestatud piirangud on järgmised:

- ava diameeter võib olla maksimaalselt 40% tala kõrgusest;
- kui ava ei asu tala keskteljel, siis võetakse ava diameetriks keskteljel asuva tingliku ava diameeter, mille sisse mahub tegeliku ava diameeter;
- minimaalne kaugus lähimast tala otsast ava tsentrisse peab olema võrdne vähemalt tala kõrguse ja neljakordse ava diameetriga;
- kahe ava tsentrite kaugus peab olema võrdne vähemalt tala kõrguse ja neljakordse suurema ava diameetriga.

Lisaks tuleb kontrollida, et tõmbepinged nõrgestatud ristlõikes ei ületaks tõmbetugevust:

$$\sigma_{t,90,d}/f_{t,90,d} \leq 1. \quad (1.41)$$

Tõmbepinged nõrgestatud ristlõikes arvutatakse järgneva valemiga:

$$\sigma_{t,90,d} = \frac{1,8 * V_{E,d,hole} * d + 0,07 * M_{d,hole}}{b * h^2}. \quad (1.42)$$

Kokkuvõtteks on kõige suurem erinevus selles, et nii Steico kui Stora Enso lubavad teha tugevdamata ühesuunaliste kiududega LVL talas kuni 40% tala kõrguse ulatuses avasid. Metsä Wood lubab Kerto taladesse teha avasid koguni kuni 70% ulatuses tala kõrgusest. Kui tugevuskontrolli nõuded on täidetud vastavatele valemitele, lubatakse avasid teha nii ühesuunaliste kiududega Kerto-S taladesse kui ka ristisuunas kiududega Kerto-Q taladesse. Kui arvestada Soome LVL käsiraamatu juhiseid, siis need on nii STEICO, Stora Enso kui ka Metsä Woodi augustamise juhistega vastuolus, kuna STEICO LVL-R talades ja Stora Enso S-talades on vineerikihi ühtepidi ning vastavalt LVL

käsiraamtule võiks lubatud ava olla maksimaalselt 15% tala kõrgusest. Metsä Woodi Kerto-Q talas on küll vineeri kihid ka risti suunas, kuid lubatava augu kõrgus 70% tala kõrgusest on palju suurem kui Soome LVL-käsiraamatus, mis oli 40% tala kõrgusest. Doktoritööst selgus, et vineeriga tugevdamisel võib ava suurus olla maksimaalselt 50% tala kõrgusest. Tabel 1.3-s on toodud juhendite kokkuvõtte ja ava geomeetria piirangud 120 mm diameetri korral.

Tabel 1.3 Spoonliimpuidu augustamise juhendite kokkuvõtte

LVL - Kõrguse suhtes keskel asetsevate ümmarguste avade piirangud	Lubatud ava max suurus	120 mm ava jaoks tala min kõrgus h, mm	120 mm ava serva min kaugus toest, mm	120 mm ava serva min kaugus otsast, mm
Soome spoonliimpuidu käsiraamat – tüüp P	$0,15 h$	800	$0,5 h=400$	$h=800$
Soome spoonliimpuidu käsiraamat – tüüp C	$0,4 h$	300	$0,5 h=400$	$h=300$
Doktoritöös sisemise tugevdusega	$0,4 h$	300	-	-
Doktoritöös vineeriga tugevdamisel	$0,5 h$	240	-	-
STEICO LVL juhised	$0,4 h$	300	$\max(3,5d; h-0,5d)=420$	-
Stora Enso juhised	$0,4 h$	300	-	$\max(3,5d; h-0,5d)= 420$
Kerto talade juhised	$0,7 h$	172	$0,5 h=400$	$h=172$

1.3.7 I-tala kandepiiriseisundis

STEICO nõrgestamata ristlõike kontroll

Nõrgestuseta I-tala arvutus põhineb EVS-EN 1995-1-1:2005 „Eurokoodeks 5: Puitkonstruktsioonide projekteerimine. Osa 1-1: Üldist. Üldreeglid ja reeglid hoonete projekteerimiseks“ põhimõtetal ja ETA-06/0238-s toodud I-tala karakteristikutel, vt Tabel 1.4 ja Tabel 1.5.

Lisaks on STEICO programmi haldajatele antud juhised, kus üle 400 mm kõrguste talade puhul tuleb toe koht tugevdada vastavalt lisas toodud juhiste (Lisa 5). Lisatugevduste kohta leiab rohkem informatsiooni 2018. aasta tehnilisest juhendist [11].

Tabel 1.4 STEICO I-tala normatiivsed väärtused ETA järgi LVL-st võõde ja puitlaastplaadist tala seina puhul

Tala tüüp	Tala kõrgus h , mm	Normatiivne paindemoment, $M_{R,kf}$ kN·m	Normatiivne löikejõud, $V_{R,kf}$ kN	Paindejäikus EI_{joist} N·mm ² x 10 ⁹	Nihkejäikus GA_{joist} MN
SJLVL39,NFB 45	220	8,79	14,14	433	2,89
	240	9,78	15,26	536	3,23
	250	10,27	15,82	591	3,39
	260	10,78	16,37	649	3,56
	280	11,79	17,23	775	3,90
	300	12,82	17,60	912	4,23
	350	15,43	18,44	1308	5,07
	360	15,96	18,60	1397	5,24
	400	17,75	19,20	1783	5,91
	450	19,85	19,89	2338	6,75
SJLVL39,NFB 60	220	11,65	14,90	575	2,89
	240	12,94	16,07	709	3,23
	250	13,60	16,64	782	3,39
	260	14,25	17,21	858	3,56
	280	15,58	18,09	1023	3,90
	300	16,91	18,46	1203	4,23
	350	20,30	19,28	1721	5,07
	360	20,98	19,44	1836	5,24
	400	23,61	20,01	2337	5,91
	450	26,48	20,67	3056	6,75
SJLVL39,NFB 90	220	17,37	16,08	857	2,89
	240	19,28	17,31	1056	3,23
	250	20,24	17,91	1164	3,39
	260	21,20	18,51	1277	3,56
	280	23,14	19,44	1520	3,90
	300	25,09	19,81	1785	4,23
	350	30,03	20,63	2545	5,07
	360	31,02	20,78	2714	5,24
	400	35,04	21,35	3447	5,91
	450	39,73	21,98	4493	6,75

Tabel 1.5 STEICO I-tala normatiivsed survekandevõimed erinevate toepikkuste korral ETA järgi

Tala tüüp	Tala kõrgus h , mm	Toe normatiivne survekandevõime $R_{c,k}$ (kN)			
		45 mm jäigastus		89 mm jäigastus	
		ilma	koos	ilma	koos
SJLVL39,NFB 45	220	9,1	16,9	11,3	18,8
	240	9,1	17,2	11,3	19,1
	250	9,1	17,4	11,3	19,2
	260	9,1	17,5	11,3	19,4
	280	9,1	17,8	11,3	19,7
	300	9,1	18,1	11,3	20,0
	350	9,1	18,9	11,3	20,7
	360	9,1	19,0	11,3	20,9
	400	9,1	19,6	11,3	21,5
	450	7,9	18,4	10,1	20,3
SJLVL39,NFB 60	220	12,2	18,0	14,3	18,5
	240	12,2	18,3	14,3	18,8
	250	12,2	18,4	14,3	18,9
	260	12,2	18,6	14,3	19,1
	280	12,2	18,9	14,3	19,4
	300	12,2	19,2	14,3	19,7
	350	12,2	19,9	14,3	20,4
	360	12,2	20,1	14,3	20,6
	400	12,2	20,7	14,3	21,2
	450	10,9	21,4	13,0	21,9
SJLVL39,NFB 90	220	15,6	24,4	16,5	24,3
	240	15,6	24,7	16,5	24,6
	250	15,6	24,9	16,5	24,7
	260	15,6	25,0	16,5	24,9
	280	15,6	25,3	16,5	25,2
	300	15,6	25,6	16,5	25,5
	350	15,6	26,4	16,5	26,2
	360	15,6	26,5	16,5	26,4
	400	15,6	27,1	16,5	27,0
	450	14,4	27,9	15,3	27,7

Kuna antud töös on toe pikkuseks võetud 50 mm, siis vastavad arvutusväärtused on saadud interpoleerimise teel.

Paindekandevõime puhul peab olema täidetud järgnev tingimus:

$$\frac{M_{d,max}}{M_{R,d}} \leq 1, \quad (1.43)$$

kus $M_{d,max}$ – talas tekkiv maksimaalne arvutuslik paindemoment, kNm,

$M_{R,d}$ – tala arvutuslik paindekandevõime, kNm ja on arvutatav järgmiselt:

$$M_{R,d} = \frac{M_{R,k} * k_{mod} * k_{sys}}{\gamma_M}, \quad (1.44)$$

$M_{R,k}$ – tala normatiivne paindekandevõime, kNm,

γ_M – materjali omaduste osavarutegur, mis võtab arvesse ka mudeli määramatusi ja mõõdete varieeruvust, I-talal $\gamma_M = 1,2$.

Nihkekandevõime tagamiseks peab olema täidetud järgmine tingimus

$$\frac{V_{E,d}}{V_{R,d}} \leq 1, \quad (1.45)$$

kus V_d – talas tekkiv maksimaalne arvutuslik nihkejõud, kN,

$V_{R,d}$ – tala arvutuslik nihkekandevõime, kN ja on arvutatav järgmiselt:

$$V_{R,d} = \frac{V_{R,k} * k_{mod,v} * k_{sys}}{\gamma_{M,v}}, \quad (1.46)$$

$V_{R,k}$ – tala normatiivne nihkekandevõime, kN.

$k_{mod,v}$ – koormuse kestuse ja niiskuse mõju arvestav modifikatsioonitegur nihke korral $k_{mod,v} = 0,65$,

$\gamma_{M,v}$ – materjali omaduste osavarutegur, mis võtab arvesse ka mudeli määramatusi ja mõõdete varieeruvust nihke korral, $\gamma_{M,v} = 1,3$.

Survekandevõime tagamiseks toel peab olema täidetud järgmine tingimus:

$$\frac{V_d}{R_{c,d}} \leq 1, \quad (1.47)$$

kus V_d – tala toe lõikes tekkiv arvutuslik nihkejõud (kN),

$R_{c,d}$ – tala toe arvutuslik survekandevõime 50 mm toepikkuse korral (kN) ja on arvutatav järgmiselt:

$$R_{c,d} = \frac{R_{c,k} * k_{mod} * k_{sys}}{\gamma_M}, \quad (1.48)$$

$R_{c,k}$ – tala normatiivne survekandevõime 50 mm toepikkuse korral, kN.

Tala normatiivse toe kandevõime saab määrata Tabel 1.5 põhjal. 400 mm ja kõrgemate talade korral tuleb toe kohale kahele poole tala seina lisada täiendav jäigastus vastavalt Lisa 5-s toodud juhiste.

1.3.8 I-tala kasutuspiirseisundis

Tala läbipaine arvutatakse hetkelise ja lõpliku olukorra puhul. Hetkeline läbipaine peab rahuldama tingimust valemis (1.9). Tala hetkeline läbipaine arvutatakse valemiga (1.10). Hetkeline läbipaine alalisest koormusest arvutatakse antud konstruktsiooni korral järgmiselt:

$$w_{inst.G} = \frac{5}{384} g_k * s \frac{l_{ef}^4}{EI_{joist}} + \frac{M_{y.g.k}}{GA_{joist}} \quad (1.49)$$

ja hetkeline läbipaine muutuvkoormusest arvutatakse antud konstruktsiooni korral:

$$w_{inst.Q} = \frac{5}{384} q_k * s \frac{l_{ef}^4}{EI_{joist}} + \frac{M_{y.q.k}}{GA_{joist}}, \quad (1.50)$$

kus EI_{joist} – tala paindejäikus, N*mm²,

GA_{joist} – tala nihkejäikus, MN.

Tala lõplik läbipaine peab rahuldama tingimust (1.14). Tala lõplik läbipaine arvutatakse valemiga (1.15), kus lõplik läbipaine alalisest koormusest, mm, arvutatakse järgnevalt:

$$w_{fin,G} = \frac{5}{384} g_k * s \frac{l_{ef}^4}{EI_{joist}} (1 + k_{def}) + \frac{M_{y.g.k}}{GA_{joist}} (1 + k_{def,v}) \quad (1.51)$$

lõplik läbipaine muutuvkoormusest, mm, arvutatakse antud konstruktsiooni korral:

$$w_{fin,Q} = \frac{5}{384} q_k * s \frac{l_{ef}^4}{EI_{joist}} (1 + \Psi_2 * k_{def}) + \frac{M_{y.g.k}}{GA_{joist}} (1 + \Psi_2 * k_{def,v}), \quad (1.52)$$

kus $k_{def,v}$ – roome ja niiskuse koosmõjust tekkinud deformatsioone ajas arvestav tegur nihke puhul, $k_{def} = 2,25$.

Vibratsioon

Vibratsiooni põhisagedus peab vastama tingimusele (1.19),

kus $(EI)_l$ – põranda silde l_{sille} suunas vastav paindejäikus laiusühiku kohta on arvutatav järgmiselt:

$$(EI)_l = \frac{EI_{joist}}{s}, \quad (1.53)$$

kus EI_{joist} – I-tala paindejäikus vastavalt ETA-06/0238-le.

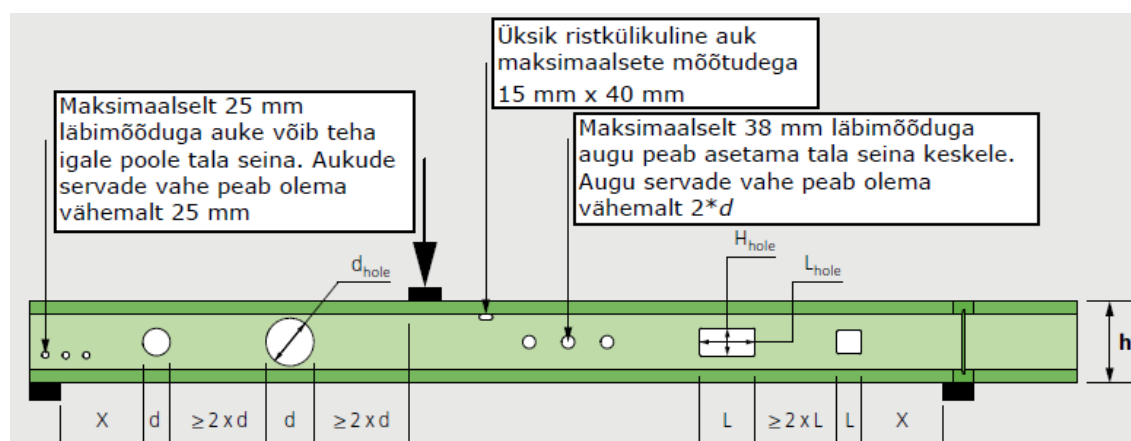
Kui tingimus (1.19) on täidetud, siis kontrollitakse, et oleks täidetud ka tingimus (1.21) juhul, kui tellijaga ei ole teisiti kokku lepitud.

1.3.9 I-tala nõrgestatud ristlõike kontroll

Üldiselt on igal tootjal oma reeglid ja juhised, mille järgi lubatakse I-talasisid augustada. Järgnevalt on välja toodud Finnjoist, Masonite ja STEICO talade augustamise reeglid ja piirangud ümmarguste avade puhul.

STEICO

Nõrgestuse geomeetriast tulenevad piirangud on toodud Joonis 1.9 ning Tabel 1.6-s vastavalt STEICO 2018 a. tehnilisele juhendile [11] ja 2019. a. ETA-06/0238-le [14].



Joonis 1.9 Avade lubatud geomeetria ja paiknemine ilma täiendava tugevuskontrollita

Kahe ava servade vahe peab olema vähemalt kahekordne ava diameeter. Ava maksimaalne suurus peab rahuldama tingimust:

$$d \leq h - 2,1 * h_f \leq 200 \text{ mm} \quad (1.54)$$

kus h – tala kõrgus, mm,
 h_f – vöö kõrgus, mm.

Suurema kui 38 mm läbimõõduga ava puhul peab ava kaugus lähimast toepinnast vastama Tabel 1.6-s toodud nõuetele ja lisaks tuleb kontrollida, et nõrgestatud ristlõikes oleks rahuldatud tingimus:

$$V_{E,d,hole} / V_{R,d,hole} \leq 1, \quad (1.55)$$

kus $V_{E,d,hole}$ – nõrgestuse lähima toe poolses servas esinev arvutuslik nihkejõud, kN,
 $V_{R,d,hole}$ – nõrgestatud ristlõike arvutuslik nihkekandevõime, kN ja on arvatav järgmiselt:

$$V_{R,d,hole} = \frac{V_{R,k,hole} * k_{mod,v} * k_{sys}}{\gamma_{M,v}}, \quad (1.56)$$

$V_{R,k,hole}$ – nõrgestatud ristlõike normatiivne nihkekandevõime, kN ja on arvatav järgmiselt:

$$V_{R,k,hole} = V_{R,k} * k_{hole}, \quad (1.57)$$

$V_{R,k}$ – STEICO I-tala normatiivne nihkekandevõime, kN,

k_{hole} – vähendustegur ja on arvatav järgmiselt:

$$k_{hole} = \frac{h - h_f - 0,9 d}{h - h_f}. \quad (1.58)$$

Tabel 1.6 Ümmarguste avade miinimumkaugused (m) lähimast toepinnast STEICO I-talade puhul [11]

Tala kõrgus h , (mm)	Tala sille, (m)	Ava diameeter d , (mm)	
		100	125
220	3,5	0,29	0,88
	4	0,43	1,07
	4,5	0,58	1,26
	5	0,74	1,46
240	4	0,24	0,56
	4,5	0,24	0,72
	5	0,29	0,89
	5,5	0,54	1,07
300	4,5	0,30	0,30
	5	0,30	0,30
	5,5	0,30	0,30
	6	0,30	0,38
360	5	0,36	0,36
	5,5	0,36	0,36
	6	0,36	0,36
	6,5	0,36	0,36
400	5,5	0,40	0,40
	6	0,40	0,40
	6,5	0,40	0,40
	7	0,40	0,40

Arvestades eespool toodud reeglitega on 120 mm diameetriga maksimaalne avade arv Steico I-talas nelja meetrise tala puhul 8, mis on tõenäoliselt elamu kommunikatsioonide jaoks piisav.

Finnjoist talade augustamise piirangud ja nõuded vastavalt ETA 02/0026-le:

- avad peavad paiknema tala kõrguse suhtes keskel, välja arvatud avad, mille diameeter on väiksem kui 20 mm;
- kui augud ei asetse tala kõrguse suhtes keskel, siis teoreetilise augu kõrgus arvutatakse valemiga $d_{theoretical} = d + 2 * e_{hole}$, mm;
- suuremate avade servade vahel peab olema vähemalt kahekordne suurema ava diameetri suurune.

Lisaks peab kontrollima tala nihketugevust. Avadega talade nihkekandevõime peab rahuldama järgmist tingimust:

$$V_{R,k,hole} = 1,1 * k_{hole} * V_{R,k} \leq V_{R,k}, \quad (1.59)$$

kus $V_{R,k}$ – nõrgestamata I-tala nihkekandevõime vastavalt ETA 02/0026 toodud väärtustele,

k_{hole} – tegur, mis võtab arvesse agu mõju ja arvutatakse järgmiselt:

$$k_{hole} = \frac{h_w + h_f - k_{shape} * d - k * 38}{h_{w,eff} - 38}, 0 \leq k_{hole} \leq 1, \quad (1.60)$$

kus h_w – tala seina kõrgus, $h_w = h - 2 * h_f$, mm,

h_f – vöö kõrgus, mm,

k_{shape} – kujutegur, ringikujuliste puhul 1 ja ristkülikulise ava puhul 1,23,

$h_{w,eff}$ – efektiivne tala kõrgus, vt valem (1.62), mm,

k – tegur, mis võtab arvesse süsteemi avad, mis võivad asetseda vaadeldava ava lähedal ja arvutatakse järgmise valemiga:

$$k = \frac{250 - h - d}{76}, 0 \leq k \leq 1, \quad (1.61)$$

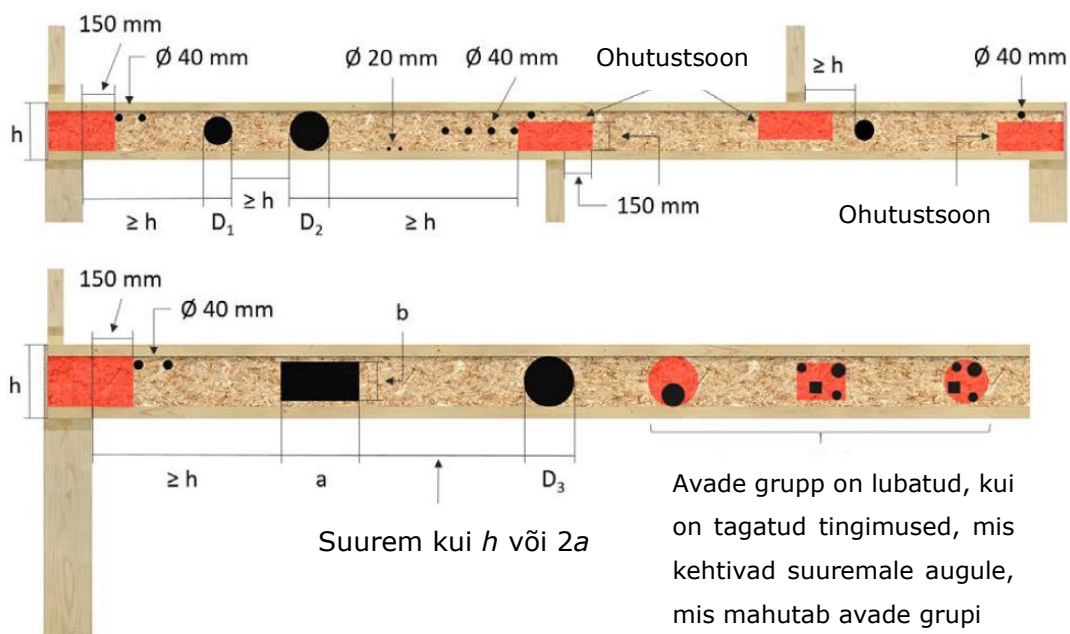
kus h – tala kõrgus, mm,

$$h_{w,eff} = \frac{35 * b_w}{h_w} (h_w + h_f) \leq h_w + h_f, \quad (1.62)$$

kus b_w – seina laius, mm.

MASONITE talade augustamise piirangud ja nõuded vastavalt ETA 02/0018:

- ohutustsoon on 150 mm horisontaalselt ja vertikaalselt toe äärest (vt Joonis 1.10);
- ava tekitatud nihkepinge vähenemist tuleb kontrollida vastavalt valemitele (1.63) - (1.66)
- ava asetuse piirangud on näidatud Joonis 1.10 ja maksimaalsed suurused on toodud Tabel 1.7-s.



Joonis 1.10 Masonite I-tala augustamise piirangud

Tabel 1.7 Masonite I-tala lubatud maksimaalsed ava diameetrid vastavalt tala kõrgusele

Tala kõrgus h , mm	200	220	240	250	300	350	400	450	500
Maksimaalne ava diameeter, d , mm	106	126	146	156	206	256	306	356	406
Minimaalne kaugus toest või punktkoormusest	$\geq h_1$)								
Minimaalne vahe ümmarguste avade vahel	≤ 40 mm	2 x suurema ava läbimõõd							
	> 40 mm	$\geq h_1$)							
<p>1) Märkus: Kõik tabelis toodud väärtused kehtivad ühtlaselt jaotatud koormuste korral. Info, mis puudutab ava põhjustatud nihkekandevõime vähenemist, on toodud ETA 12/0018-s.</p>									

Lisaks tuleb kontrollida tala nihketugevust, mis peab rahuldama tingimust:

$$V_{R,d,hole} \geq V_{E,d,hole}, \quad (1.63)$$

kus

$$V_{R,d,hole} - \text{nihkekandevõime nõrgestatud lõikes, } V_{R,d,hole} = V_{R,d} * k, \quad (1.64)$$

$V_{R,d}$ – tala arvutuslik nihkekandevõime

k - vähendustegur vastavalt tala seina materjalile ja arvutatud kas valemi (1.65)

või (1.66) järgi.

$$k_{OSB} = \frac{h - h_f - 0,9 d}{h - h_f} \quad (1.65)$$

$$k_{p5} = \frac{h - h_f - 0,8 d}{h - h_f} * \left[1 - \log \left(\frac{h}{115} \right) \right] \quad (1.66)$$

kus h – tala kõrgus, mm,
 d – ava diameeter, mm, $d \leq h - 2h_f$
 h_f – vöö pakkus, mm.

Tabel 1.8 Erinevate I-tala tootjate võrdlus 6-meetrise silde ja kuiva ruumi koormuste korral

Tala tüüp	Laius b, mm	Kõrgus h, mm	Samm s, mm	w/ W _{adm}	Ava tsentri kaugus tala otsast, mm	Nihke-kandevõime nõrgestatud ristlõikes	f ₁ ≥ 9 Hz	δ / 0,5 mm
SJ _{LVL,39,NFB}	60	450	400	56%	560	55%	9,1	143%
MHI _{OSB}	70	450	400	54%	560	73%	9,9	129%
MHI _{P5}	70	450	400	60%	560	60%	9,8	131%
FJI _{36,OSB}	89	400	400	60%	240	53%	8,9	148%
SJ _{LVL,39,NFB}	90	400	400	52%	510	57%	9,6	130%
MHI _{OSB}	70	400	400	69%	510	40%	8,6	158%
MHI _{P5}	70	400	400	75%	510	34%	8,6	160%
MHB _{OSB}	97	400	400	54%	510	40%	10,1	124%
MHB _{P5}	97	400	400	60%	510	34%	10,1	125%

Kokkuvõtteks tuleb 120 mm suuruse ümmarguse ava puhul täiendavalt kontrollida tala nihkekandevõimet nõrgestatud lõikes. Kõige keerulisem oli Finnjoisti nõrgestatud ristlõike arvutus, kuna seal oli vaja leida rohkem lisategureid kui Masonite või STEICO talade puhul. Tabel 1.8-s on toodud töös käsitletud erinevate I-talade võrdlus 6-meetrise silde ja kuiva ruumi koormuste korral. Tabelist on näha, et Steico ja Masonite augustamise nõuded ja tulemused on sarnased Steico kõva puitkiud- ja Masonite puitlaastplaadiga seina puhul. Masonite tala, mille seinaks on orienteeritud laastuga plaat, on nõrgestuse suhtes tundlikum kui P5 seinaga talal ja Steico talal. Vibratsiooni nõuetega seotud läbipaine on Steico I-talal mõnevõrra (4-11%) suurem, kui Masonite taladel. 400 mm kõrguste talade puhul on näha, et Steico tala läbipaine on võrreldavatest taladest kõige väiksem, kuid vibratsiooni nõuetega seotud läbipained on Masonite HB taladel ca 5% väiksemad. Finnjoisti läbipainete tulemused on küll mõnevõrra kehvemad, kuid ava on lubatud teha toele tunduvalt lähemale kui Steico ja Masonite'i taladel. Kõigi talade puhul sai antud koormusolukorras määravaks vibratsioon. Kui tellija nõuab 1 kN poolt põhjustatud suurima põrandakonstruktsiooni läbipainde nõude täitmist, tuleb talade peale panna jäigem plaat või vähendada talade sammu. Masonite HI talad ei täitnud antud koormuste ja kõrguse korral vibratsiooni põhisageduse nõuet.

2. METOODIKA

2.1 Magistritöö lähteandmed ja eesmärk

Käesoleva magistritöö eesmärgiks on võrrelda arvutustulemuste põhjal puidust vahelaekonstruktsioonide maksumusi. Talade dimensioneerimisel lähtutakse eelkõige Eesti standarditest, arvestades talade kandevõimet, soovituslike piirläbipaindeid kasutuspiirseisundi ja vibratsiooni puhul erinevate sillete ja omakaalukoormuste (kuiv ja märg ruum) korral. Hüpoteesiks on, et antud konstruktsioonitüüpidest on kõige odavam I-taladest ja kõige kallim spoonliimpuittaladest vahelagi, kuid arvestades I-talade ja spoonliimpuittalade augustamiseks kuluva lisaajaga, on eeldatavasti majanduslikult kõige otstarbekam kasutada positalasid. Teiseks eesmärgiks on võrrelda vahelaetalade optimaalset töötamist kasutuspiirseisundis. Kolmandaks eesmärgiks on võrrelda kriitiliste pingete mõju nõrgestatud I-talade dimensioneerimisel (kas määravaks saab läbipaine või nõrgestatud ristlõikes kriitilised pinged). Hüpoteesiks on, et puidust vahelaetalade dimensioneerimisel saab määravaks vibratsioon ja kõige optimaalsemalt töötavad kergtalad, kuid oluline on kontrollida augustamist vajavate talade nõrgestatud ristlõikes tekkivaid pingeid.

Arvutuse aluseks on võetud lihttala arvutusskeem. Silled on 4, 6 ja 7 meetrit. Kontrollitakse talade läbipainet ja vibratsiooni ning kandevõimet nõrgestamata ristlõigetes, kus esinevad kriitilisemad pinged. Lisaks kontrollitakse I-taladel nõrgestatud ristlõikes tekkivaid pingeid, kui nõrgestus asub lubatud minimaalsel kaugusel toest või tala otsast. Liimpuit- ja spoonliimpuittalade dimensioneerimisel kontrollitakse ava geomeetriast tulenevaid nõudeid. Kokku dimensioneeriti 17 positala ja I-tala, 14 spoonliimpuittala ning 9 liimpuittala. Liimpuittalasid ja LVL-talasisid oli vähem, kuna antud augustamise tingimusi arvestades ei saanud kasutada madalamaid talasid kui 300 mm.

Lisaks uuritakse Steico I-talade augustamisel talade kandevõime muutust ning võrreldakse määravaks saavaid olukordi Masonite ja Finnjoisti pakutavate I-taladega. Huvipakkuva läbiviigu diameeter on 120 mm. I-talade ja LVL-talade augustamiseks on erinevatel tootjatel erinevad nõuded, mida uuritakse lähemalt järgnevatel peatükkides.

Kuna ka liimpuit- ja spoonliimpuittalade augustamise teema on keeruline ja nende jaoks pole Euroopas ühtset standardit, siis võrreldakse erinevate riikide standardite lisades, käsiraamatutes ja tootjapoolsetes dokumentides toodud juhiseid talade augustamiseks.

2.2 Vahelagedele mõjuvad koormused

2.2.1 Konstruktsiooni omakaal

Omakaalukoormuste normväärtused on määratud vastavalt standardile EVS-EN 1991-1-1:2002+NA:2002 ja materjali tootja andmetele. Kuiva ruumi puhul on omakaal alumisel vööl $g_{k,al} = 500 \text{ N/m}^2$, ülemisel vööl $g_{k,ül} = 500 \text{ N/m}^2$, kokku $g_k = 1000 \text{ N/m}^2$ ja lisandub tala omakaal. Märja ruumi puhul on alumise vöö omakaal samuti 500 N/m^2 ja ülemisele vööle lisandub 80 mm paksuse raudbetoon kihi omakaal, mis on 2 kN/m^2 ehk kokku on ülemise vöö omakaal 2500 N/m^2 , kokku $g_{k,2} = 3000 \text{ N/m}^2$ ja lisandub tala omakaal. Omakaalu arvutused on toodud Lisa 1-s.

2.2.2 Kasuskoormus

Kasuskoormus on hoone kasutamisest tulenev koormus [25, lk 18]. Vahelagedele rakendatava kasuskoormuse normväärtus on määratud vastavalt standardile EVS-EN 1991-1-1 (Tabel 2.1) [26].

Tabel 2.1 Kasuskoormuse normväärtused

Koormatud pinna klass	Kasutamise iseloom	Kasuskoormuse normväärtus	
		q_k (kN/m ²)	Q_k (kN)
Klass A - vahelaed	Majapidamis- ja elamispiinad	2,0	2,0

2.2.3 Koormuskombinatsioonid

Kandepiirseisundi koormuste arvutusväärtused on määratud vastavalt standarditele EVS-EN 1990:2002+NA:2002 (Tabel 2.2), koormuse osavarutegurid (Tabel 2.3). Kasutuspiirseisundi koormuskombinatsioonid (Tabel 2.4) ning kombinatsioonides kasutatavad teguri Ψ väärtused (Tabel 2.5).

Tabel 2.2 Koormuste arvutusväärtused kandepiirseisundis

Alaline ja ajutine arvutusolukord	Alalised koormused G_d		Sõltumatud muutuvkoormused Q_d	
	Ebasoodne mõju	Soodne mõju	Domineerivad koormused	Muud koormused
Valem (6.10)	$\gamma_{Gj,sup}G_{kj,sup}$	$\gamma_{Gj,inf}G_{kj,inf}$	$\gamma_{Q,1}Q_{k1}$	$\gamma_{Q,i}\Psi_{0,i}Q_{k,i}$

Tabel 2.3 Osavarutegurite väärtused kandepiirseisundis

Koormuse liik	Osavaruteguri tähis	Osavaruteguri väärtus
Alalised koormused - ebasoodne mõju	$\gamma_{Gj,sup}$	1,2
Muutuvkoormused – ebasoodne mõju	γ_Q	1,5
Lisaks toodule tuleb konstruktsiooni või -elementi kontrollida ainult alaliskoormuse ebasoodsast mõjust lähtudes, rakendades osavarutegurit $\gamma_{Gj,sup}=1,35$		

Tabel 2.4 Koormuste arvutusväärtused kasutuspiirseisundi koormuskombinatsioonides

Kombinatsioon	Püsikoormus	Muutuvkoormused	
		Domineeriv	Muud
Normatiivne (harv)	G_k	$Q_{k,1}$	$\psi_{0,i}Q_{k,i}$
Tavaline	G_k	$\psi_{1,1}Q_{k,1}$	$\psi_{2,i}Q_{k,i}$
Tõenäoline	G_k	$\psi_{2,1}Q_{k,1}$	$\psi_{2,i}Q_{k,i}$

Tabel 2.5 Hoonetele soovitatavad teguri ψ väärtused

Koormuse liik	ψ_0	ψ_1	ψ_2
Klass A	0,7	0,5	0,3

2.3 Arvutusprogrammid

Positalade ja liimpuittalade dimensioneerimiseks on kasutatud MiTeki programmi PAMIR. LVL ja I-talade dimensioneerimiseks ja läbipainete leidmiseks on kasutatud programmi STEICOxpress. Programmi kontrollarvutused on toodud järgnevates peatükkides vastava konstruktsioonitüübi all. Maksimumuste arvutused on koostatud programmis Microsoft Excel.

2.4 Liimpuittaladest vahelae arvutusmetoodika

Liimpuittalade dimensioneerimiseks on kasutatud MiTek-i programmi PAMIR. PAMIR kasutab kalkuleerimisel Eurokoodi ja Eesti rahvuslikke lisasid. EN 1990:2002 + A1:2005 + NA:2002, EN 1991-1-1:2002 + NA:2002 ja EN 1995-1-1:2004 + NA:2007 + A1:2008 + NA:2009 + A2:2014. Programmi kontrollarvutused ja programmi PAMIR väljavõte on toodud Lisa 2-s.

Kuna maksimaalne lubatava ava suurus on vineeriga tugevdatud talal Saksa rahvusliku lisa järgi 40%, siis antud töös on arvestatud, et maksimaalne ava talas võib olla 40% tala kõrgusest ja sellest lähtuvalt peab 120 mm ava puhul olema minimaalne tala kõrgus: $120 \text{ mm} / 0,4 = 300 \text{ mm}$. Kuna standardistlõige on liimpuidu puhul kõrgusega 320 mm, siis minimaalseks liimpuittala kõrguseks on antud töös võetud 320 mm. Tabel 2.6-s on näha tala minimaalsed lubatud kõrgused 120 mm ava puhul ja ava kaugus tala otsast Rootsi liimpuidu käsiraamatu ja Saksa rahvusliku lisa järgi.

Tabel 2.6 Lamell-liimpuidu augustamise juhendite kokkuvõte

GLh	Lubatud ava max suurus	120 mm ava jaoks tala min. kõrgus h , mm	120 mm ava serva minimaalne kaugus tala otsast, mm
DIN EN 1995-1-1:NA 2013 ilma tugevdusest	$0,15 h$	800	h
DIN EN 1995-1-1:NA 2013 sisemise tugevdusega	$0,3 h$	400	
DIN EN 1995-1-1:NA 2013 välimise tugevdusega	$0,4 h$	300	

2.5 Spoonliimpuittaladest vahelae arvutusmetoodika

Maksimaalne lubatava ava suurus on vineeriga tugevdatud talal Saksa rahvusliku lisa järgi 40% ja doktoritöös läbi viidud katsete põhjal 45% tala kõrgusest ning Soome spoonliimpuidu käsiraamatu järgi 40 % tala kõrgusest, milles osa spoonikihtidest asetsevad ristikiudu, siis antud töös on arvestatud, et maksimaalne ava talas võib olla 40% tala kõrgusest ja sellest lähtuvalt peab 120 mm ava puhul olema minimaalne tala kõrgus: $120 \text{ mm} / 0,4 = 300 \text{ mm}$.

Kuna antud töös kasutatakse maksumuse võrdluseks STEICO talasid, siis arvestatakse STEICO talade parameetritega (Tabel 1.1) ning augustamise reeglitega (ptk 1.3.4).

Spoonliimpuittalade dimensioneerimiseks on kasutatud programmi STEICOxpress. Kontrollarvutused spoonliimpuittala näitel SMath Studios ja võrdlev STEICOxpressi väljavõtte tulemustest on toodud Lisa 4-s. Programm kasutab dimensioneerimiseks Saksa standardit DIN EN 1995-1-1:2010-12+A1+A2, mis on vastavuses Eurokood 5-ga. Kuna kontrollarvutuste ja programmi erinevused on väikesed (alla 5%), siis võib pidada programmi ja kontrollarvutuste tulemusi usaldusväärseteks.

Erinevused tulenevad sellest, et programm võtab kombinatsioonis alalise koormuse osavaruteguriks 1,35 ning jätab tala omakaalu arvestamata. Eestis rahvusliku lisa järgi on alalise koormuse osavautegur kombinatsioonis 1,2 vastavalt Tabel 2.3-s toodule. Lisaks võtab programm materjali osavaruteguriks 1,3 kuid vastavalt EVS-EN 1995-1-1:2005-le on see spoonliimpuidu puhul 1,2. Veel tuleneb väike erinevus sellest, et programm arvestab arvutuspikkusena silde pikkust, millele on lisatud minimaalne toe pikkus.

Vibratsiooniarvutuses arvestab programm ainult omakaalukoormust, kuid Eesti rahvusliku lisa järgi on vaja lisada 30% kasuskoormusest. Kui vibratsiooni kontrollimiseks lisada programmis omakaalule 30% kasuskoormusest, mis antud olukorras on $0,3 \cdot 2,0 \text{ N/m}^2 = 0,6 \text{ kN/m}^2$, on tulemused samad, mis kontrollarvutustes, vt Lisa 4.

2.5.1 Nõrgestatud LVL-R-tala kontroll

Soovitud ava suuruseks on 120 mm ja kuna lubatud ava kõrgus on maksimaalselt 40% tala kõrgusest, siis minimaalne vajalik tala kõrgus STEICO LVL-R-tala puhul on: $120 \text{ mm} / 0,4 = 300 \text{ mm}$ ehk sobivad talad kõrgusega alates 300 mm. Lisaks tuleb jälgida ava asukoha piiranguid, mis tulenevad tala kõrgusest, ava diameetrist ja sildeava pikkusest (Joonis 1.7).

Kuna spoonliimpuittalade nõrgestatud ristlõike kontrollimise juhendid ja nõuded geomeetrialet on tootjate ja käsiraamatute ning standardite lõikes üsna erinevad, siis järgnevas Tabel 2.7-s on toodud Steico LVL-R tala nõrgestatud ristlõike arvutuste tulemused lähtudes erinevatest juhenditest. Tabelist on näha, et tootjate juhised ei lähe kokku Soome LVL-käsiraamatus, mis põhineb Austria rahvuslikus lisas toodud tugevdamise nõuetega. LVL-käsiraamatus toodud arvutusjuhistes lähtutakse sellest, et C-tüüpi LVL-talas käituvad need ligikaudu 20% kihtidest, mis asetsevad ristisuunas, augu tugevdusena ja sellepärast võib C-tüüpi LVL-talade avadele rakendada tugevdatud talade augustamise nõudeid. Kuid nii Stora Enso, Steico kui ka Metsä Woodi tehnilistes dokumentides ei ole mainitud tugevdamise vajadust.

Tabel 2.7 LVL tala nõrgestatud ristlõike kontrollarvutuste tulemused erinevate juhiste põhjal

STEICO LVL-R, 45x400, s400, 6m, d=120 mm, ava tsentrisse 530 mm tala otsast (toest 4d)	Tõmbekandevõime ristikiudu ava servas	Nihkekandevõime
Soome LVL käsiraamat - tugevdatud	36%	39%
DIN 1052 NA:2013 - tugevdatud	26%	x
STEICOxpress $\gamma_M=1.3$ - tugevdamata	28%	26%
Stora Enso – tugevdamata	29%	x
Metsä Woodi VVT	36%	19%

Loodetavasti lahendatakse ja ühtlustatakse augustamisega seotud küsimused hiljemalt 2023. aastal avaldatavas Eurokood 5 teises väljaandes.

2.6 I-taladest vahelagede arvutusmetoodika

Kuna antud töös kasutatakse maksumuse võrdluseks STEICO talasid, siis arvestatakse STEICO talade augustamise reeglitega. I-talade dimensioneerimiseks on kasutatud programmi STEICOxpress. STEICOxpressi andmebaasis on I-talad LVL39 vöödega ja puitkiudplaat HB.HLA1-ga, mis on tugevuse poolest teistest kombinatsioonidest kõige tugevam. Vastava talatüübi tähis on $SJ_{LVL39,NFB}$ ja talade laiused on 45, 60 või 90 mm. Normatiivsed karakteristikud on antud ETA-06/0238 tabelites C3 ja C7 [14].

Programm kasutab dimensioneerimiseks Saksa standardit DIN EN 1995-1-1:2010-12+A1+A2, mis on vastavuses Eurokood 5-ga. Kontrollarvutused on tehtud programmis SMath Studio. STEICOxpressi ja SMath Studio väljavõtted on toodud Lisa 6-s. Kuna kontrollarvutuste ja programmi erinevused on väikesed (alla 5%), siis võib pidada programmi ja kontrollarvutuste tulemusi usaldusväärseteks.

Erinevused tulenevad sellest, et programm võtab kombinatsioonis alalise koormuse osavaruteguriks 1,35 ning jätab tala omakaalu arvestamata. Eestis rahvusliku lisa järgi on alalise koormuse osavarutegur kombinatsioonis 1,2 (vt Tabel 2.3). Lisaks on ETA-s antud erinevad materjali omaduste osavarutegurid: nihke puhul on see 1,3 ning painde ja toe kandevõime puhul on see 1,2. Veel tuleb väike erinevus sellest, et programm arvestab arvutus pikkusena silde pikkust, millele on lisatud minimaalne toe pikkus, mis LVL-vöödega I-tala puhul on 35 mm. Vibratsiooni kontroll on tehtud sama põhimõtte järgi nagu LVL-tala puhul.

2.6.1 Nõrgestatud I-tala kontroll

Soovitud ava suuruseks on 120 mm ja kuna vöö kõrgus on 39 mm, siis minimaalne vajalik tala kõrgus STEICO I-tala puhul on :

$2,1 * 39 \text{ mm} + 120 \text{ mm} = 202 \text{ mm}$ ehk sobivad talad kõrgusega alates 220 mm.

Lisaks tuleb jälgida ava asukoha piiranguid, mis tulenevad tala kõrgusest, ava diameetrist ja sildeava pikkusest ning on antud Tabel 1.6-s.

2.7 Puitmetallsõrestikest vahelae arvutusmetoodika

Positalade dimensioneerimiseks on kasutatud MiTek-i programmi PAMIR (vt alapeatükist 2.4). Kuna vööde kõrgus on positaladel 45 mm, siis 120 mm läbiviigu võimaldamiseks on minimaalne positala kõrgus: $120 \text{ mm} + 2*45 \text{ mm} = 210 \text{ mm}$, ehk vastavalt toodetavatele kõrgustele 221 mm (PS9).

2.8 Maksumuse arvestamine

Vahelagede kandetarindite maksumus on esitatud koos käibemaksuga. Kandetarindite maksumuste tulemused on toodud Lisa 9-s. Materjali mahud on arvestanud töö autor. Hinnad on arvestatud seisuga aprill 2020. Talade ruutmeetri hinnad on arvutatud järgnevalt:

$$H_{m^2} = H_{tala} * \frac{\frac{B}{s} + 1}{B * L} \text{ ja} \quad (2.1)$$

$$H_{m^2,ava} = (H_{tala} + H_{ava}) * \frac{\frac{B}{s} + 1}{B * L} \quad (2.2)$$

kus H_{m^2} – talade hind põranda ruutmeetri kohta, €/m²,

$H_{m^2,ava}$ – talade hind põranda ruutmeetri kohta, kui igas talas on üks ava, €/m²,

B – ruumi laius, B = 6 m,

H_{tala} – tala hind, €/tk,

H_{ava} – ava hind, €/tk,

s – tala samm, m,

L – tala üldpikkus, m.

STEICO I-talade ja LVL-R talade hinnad on võetud Tervemaja OÜ koduleheküljelt [27]. Hinnakirjas on küll I-talade vööde suuruseks märgitud 45 x 45 mm, mis viitab puidust vöödele, kuid juhatuse liige kinnitas meili teel, et need on vanast ajast jäänud parandamata. Hinnakirjas olevad hinnad kehtivad LVL (45 x 39 mm) vöödega ja seinamaterjali kõva puitkiudplaat HB.HLA1 puhul.

Liimpuittalade hinnad on arvestanud töö autor vastavalt Peetri Puit OÜ-st saadud kuupmeetri hinnale.

Talade augustamise hinnad on saadud arvestades ettevalmistavatele töödele, avaloikamisele ning järeltöödele kuluvat aega ning vajaminevate masinate ja mehhanismide kulu. I-tala sein on 8 mm paksusest puitkiudplaadist, selle augustamise hinnaks on võetud 5€/ava. LVL-R tala augustamise hinnaks on võetud 8€/ava, sest see võtab kauem aega ja on keerulisem, kuna materjal on paksem (vastavalt 39-75 mm) ning liimpuittalal 10€/ava (tala laius 60-220 mm). Olenevalt avade arvust talas ja augustavatest taladest võib töö tegelik hind kokkuvõttes varieeruda, kuid lihtsuse mõttes on antud töös arvestatud ühe avaga talas.

Positalade hinnad on koostanud AMV GRUPP OÜ. Kuna positalasid toodetakse vastavalt projektile, siis sõltub positalade hind ka sellest, kui palju ühesuguseid talasid toodetakse. Antud töös on võrreldava hinna saamiseks arvestatud, et põranda laius on 6 m.

Ava tugevdamisele kuluvate ressurssidega ei ole antud lõputöös arvestatud, kuna eeldatakse, et positalade ja lihtsamini töödeldavate I-talade maksumus tuleb võrreldes tugevdamist vajavate liimpuit- ja spoonliimpuittaladega odavam.

Paigalduse hinnaga ei ole antud töös arvestatud, kuna talade all ja peal olevad materjalid on erinevate tala tüüpide puhul samad. Erinevus võib tulla talade paigaldamisel, kuna kergtalade teisaldamiseks ei ole tingimata vaja kasutada tõsteseadmeid. Aga kuna see erinevus on kergtalade kasuks ja eeldatavasti tulevad kergtalade hinnad soodsamad kui liimpuit- ja spoonliimpuittalade hinnad, siis lihtsuse huvides ei ole antud töös paigalduse hinda arvestatud.

3. TULEMUSED JA JÄRELDUSED

Vahelae kandetalade dimensioneerimise kohta teostatud kontrollarvutused näidiseks on leitavad lisades (Lisa 2, Lisa 4, Lisa 6). Kuna näidisarvutustes on näha, et määravaks saavad vibratsioon, läbipaine ja nõrgestatud löikes kriitilised pinged, siis Lisa 8-s paiknevates tabelites on välja toodud dimensioneerimisel määravaks saanud suurused. Kokku dimensioneeriti töö käigus 17 positala, 17 STEICO I-tala, 14 STEICO LVL-R tala ning 9 liimpuittala. Liimpuittalaid ja LVL-talaid oli vähem, kuna antud augustamise tingimusi arvestades ei saanud kasutada madalamaid talaid kui 300 mm.

Saadud tulemused on eraldi välja toodud järgnevates alapeatükkides. Tala tüüpi iseloomustavad tabelis järgmised tähised: positala (PJ), I-tala ehk STEICOjoist (SJ), liimpuittala (GLh) ja spoonliimpuittala (LVL-R).

I-talade puhul on võetud ava minimaalne tsentri kaugus tala otsast (Tabel 1.6) ning liidetud sinna toepikkus $s_{sup} = 50$ mm ja pool ava diameetrist $d/2 = 60$ mm.

Talale mõjuvad pörandast normatiivne kasuskoormus $q_k = 2,0$ kN/m² ja normatiivne alaliskoormus, mis kuiva ruumi korral on 1,0 kN/m² ning märja ruumi korral 3,0 kN/m².

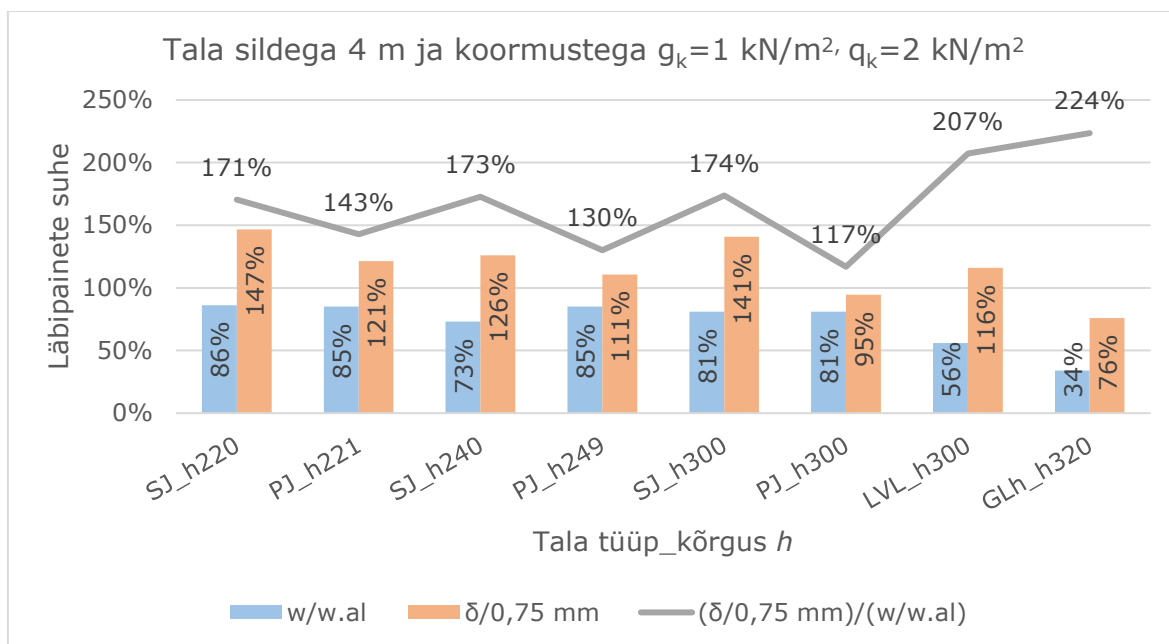
Talade samm varieerub sama koormuse ja tala silde korral vahemikus 150 – 600 mm (vt Lisa 8). Osade sillete ja koormuste korral on sama kõrgusega talade samm erinev, et leida soodsaim variant (vt Lisa 9).

3.1 Kuiva ruumi talade dimensioneerimise tulemused

3.1.1 Sille 4 m

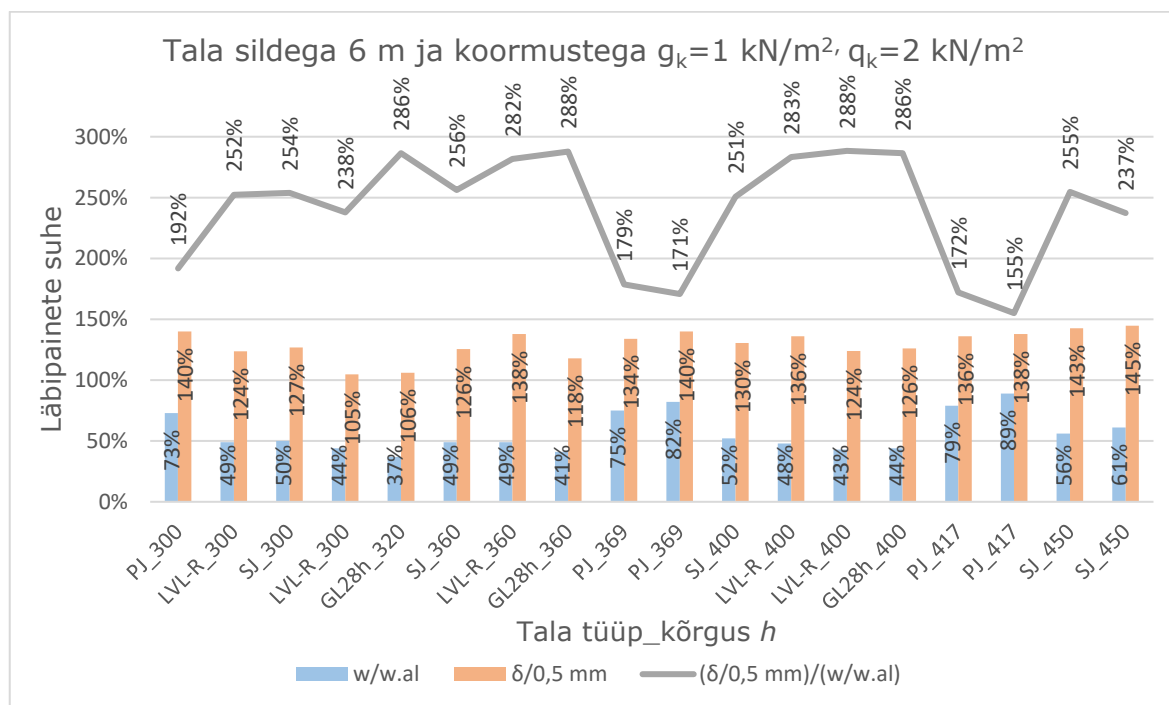
Liimpuittalal sai määravaks ava geomeetria nõue. Teistel talatüüpidel sai määravaks nii vibratsioon kui ühikjõu poolt põhjustatud suurim pörandakonstruktsiooni läbipaine. Kõiki kasutuspiiriseisundi soovituslike nõudeid täidavad 22 mm paksuse OSB/3 katteplaadiga 300 mm kõrgune positala ja 320 mm kõrgune liimpuidust tala. Enim ületas soovituslikku vibratsiooni kontrolli nõudes toodud läbipainet kõige madalam I-tala. Joonis 3.1-I on näidatud talade maksimaalse hetkelise ja löpliku läbipainde suhe lubatud läbipaindesse (w/w_{al}) ning vibratsiooni nõuetega seotud läbipainde suhe ($\delta/0,75$ mm) %-des. Jooniselt on näha, et positalade vibratsiooni nõuetega seotud läbipainde ja

tavaläbipainde erinevus on tunduvalt väiksem kui kõigil teistel talatüüpidel. Lisaks on näha, et kõige suuremad erinevused on liimpuittalal ja spoonliimpuittalal.



Joonis 3.1 Kuiva ruumi talade läbipainded 4-meetrise silde korral

3.1.2 Sille 6 m

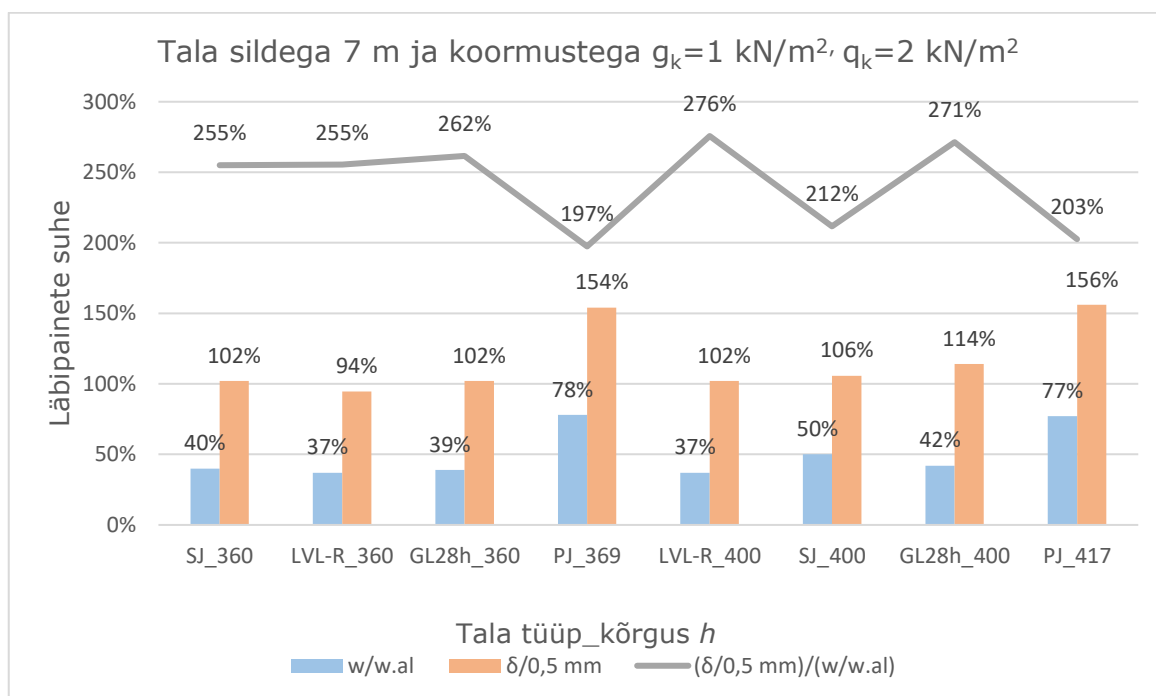


Joonis 3.2 Kuiva ruumi talade läbipainded 6-meetrise silde korral

Kõikidel talatüüpidel sai määravaks vibratsiooniga seotud läbipainde tingimus, mida ei täida 22 mm kõrguse OSB plaadi puhul ükski taladest. Kõige lähemal lubatud piiridele on 300 mm kõrgune LVL-tala ning 320 mm kõrgune liimpuittala, ületades soovituslikku piiri vastavalt 5 ja 6%. Hetkeline ning lõplik läbipaine jäävad kõikidel taladel lubatud piiridesse. Veel on Joonis 3.2-lt näha, et ka 6-meetrise silde korral on positalade vibratsiooni nõuetega seotud läbipainde ja tavaläbipainde erinevus tunduvalt väiksem kui kõigil teistel talatüüpidel. (Joonis 3.2)

3.1.3 Sille 7 m

Kõikidel talatüüpidel sai määravaks määravaks vibratsiooniga seotud läbipainde tingimus, mida täidab 360 mm kõrgune LVL-tala, jäädes 6% alla maksimaalsele soovituslikule läbipaindele. 360 mm kõrgune I-tala ja liimpuittala ning 400 mm kõrgune LVL-tala ületavad vibratsiooniga seotud läbipainet 2% ning 400 mm kõrgune I-tala 6%. Positalad ületavad tunduvalt rohkem vibratsiooni nõuetega seotud läbipainet kui teised talad. Ka siin on näha, et positalade vibratsiooni nõuetega seotud läbipainde ja tavaläbipainde erinevus on tunduvalt väiksem kui kõigil teistel talatüüpidel. Kõige suuremad erinevused on ka siin liimpuit- ja spoonliimpuittaladel. (Joonis 3.3)

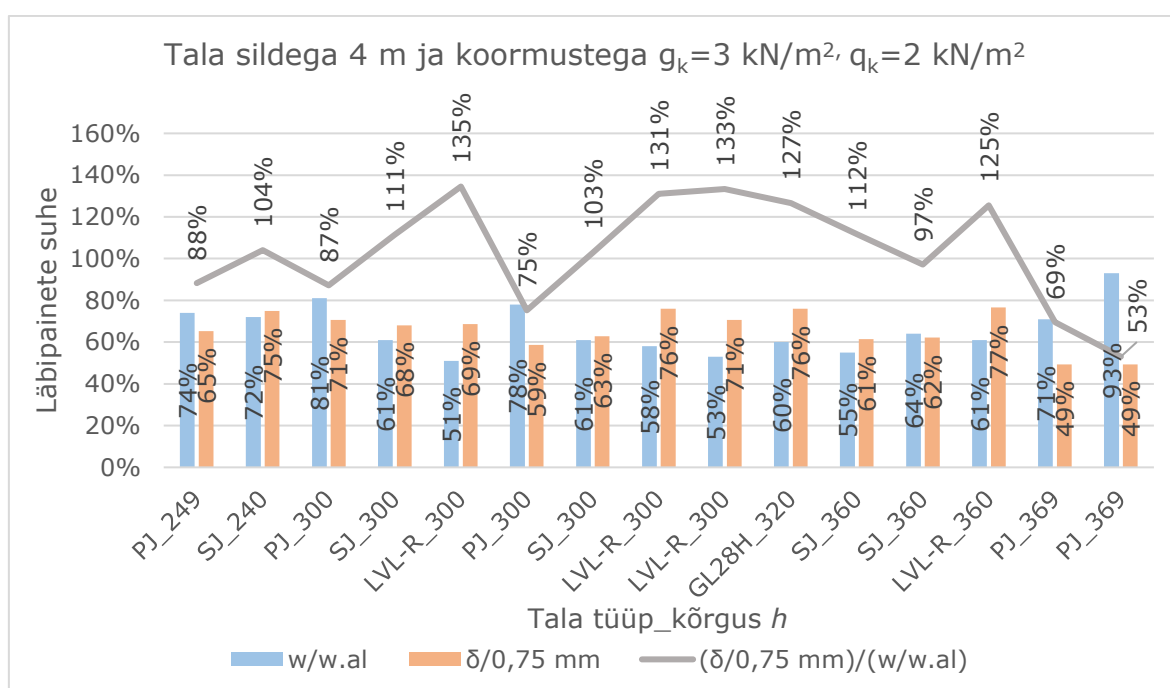


Joonis 3.3 Kuiva ruumi talade läbipainded 7-meetrise silde korral

3.2 Märja ruumi talade dimensioneerimise tulemused

3.2.1 Sille 4 m

Märja ruumi 4-meetrise silde korral täitsid kõik talad vibratsiooni nõuetega seotud läbipainde soovituslikku tingimuse 22 mm paksuse OSB/3 plaadi korral. Liimpuit- ja LVL-talade puhul sai määravaks vibratsiooni nõue ja sellega seotud läbipaine. Liimpuit- ja spoonliimpuittalade vibratsiooni nõuetega seotud läbipainde suhe tavaläbipaindesse on suurem kui kergtaladel. Kõige suuremad suhted on liimpuit- ja spoonliimpuittaladel. (Joonis 3.4)

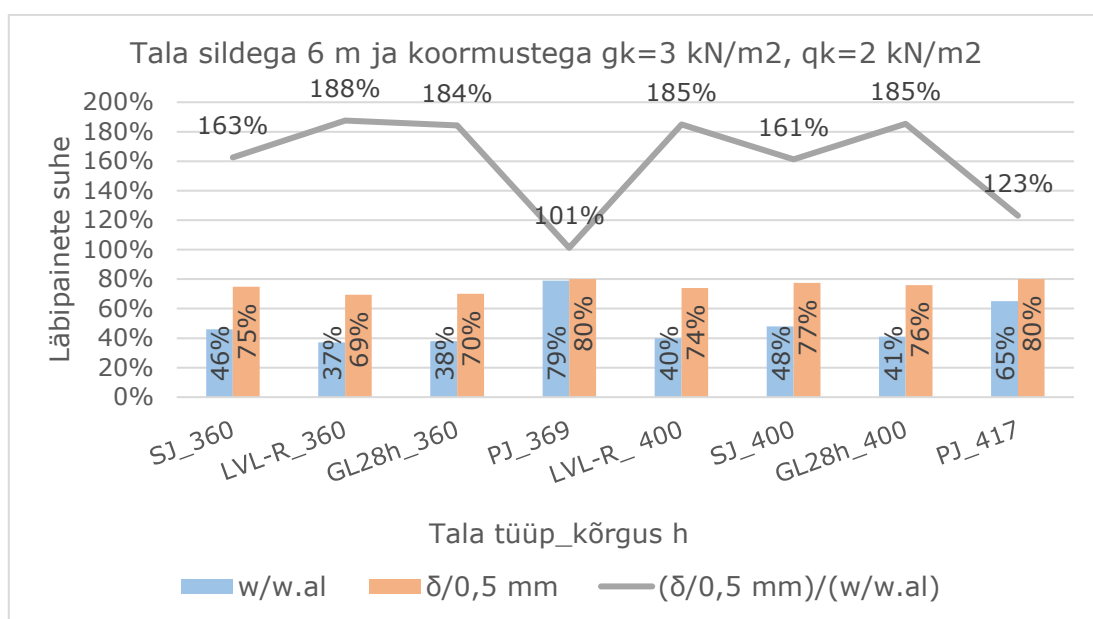


Joonis 3.4 Märja ruumi talade läbipainded 4-meetrise silde korral

Positaladel sai määravaks varraste koormatus (Lisa 8) ning kahel juhul (PJ_300-81% ja PJ_369-93%) ka läbipaine (vt w/w_{al} Joonis 3.4). I-talade puhul sai määravaks toest minimaalsele kaugusele tehtud nõrgustus, mis vähendas tala nihkekandevõimet tuntavalt. Kahele talale viiest ei tohi minimaalsele kaugusele toest 120 mm läbimõõduga ava teha. (Lisa 8)

3.2.2 Sille 6 m

Märja ruumi 6-meetrise silde korral sai suurel osal talatüüpidel määravaks vibratsiooni nõue ja sellega seotud läbipaine. Erandiks on 417 mm kõrgune positala, kus määravaks sai varraste koormatus (Lisa 8). Vibratsiooniga seotud läbipainde tingimust täidavad 22 mm kõrguse OSB plaadi puhul kõik talad. Ka siin on positalade vibratsiooni nõuetega seotud läbipainde suhe tavaläbipaindesse tunduvalt väiksem kui ülejäänud talatüüpidel. (Joonis 3.5)



Joonis 3.5 Märja ruumi talade läbipainded 6-meetrise silde korral

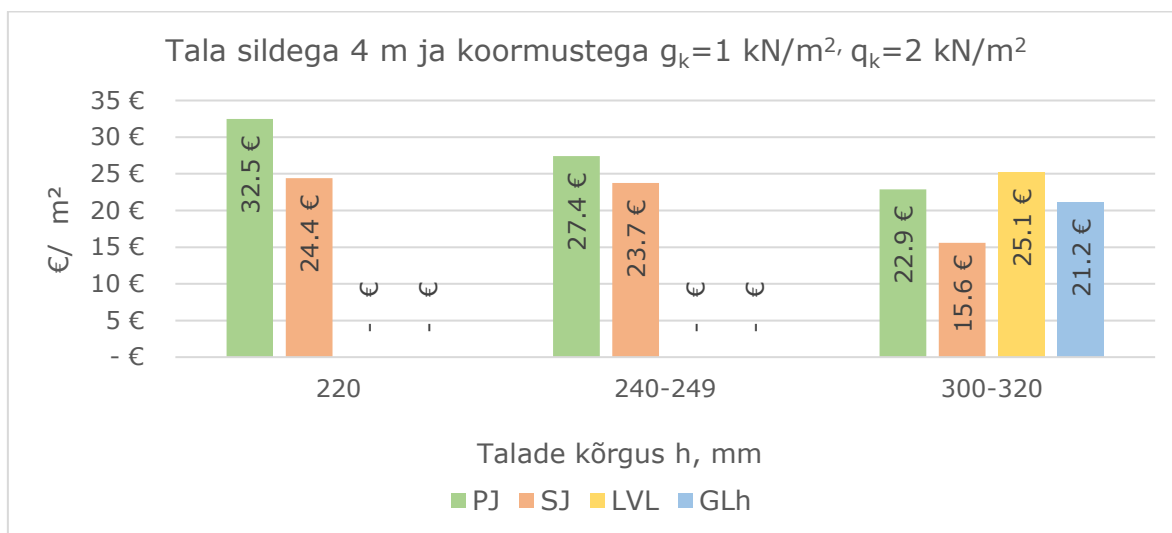
3.3 Talade maksumused

Talade maksumuste täielikud tabelid on toodud Lisa 9-s ning on leitud valemite (2.1) ja (2.2) põhjal. Järgnevalt on kuvatud iga talatüübi odavaim lahendus erinevate tala kõrguste kohta.

3.3.1 Sille 4 m – kuiv ruum

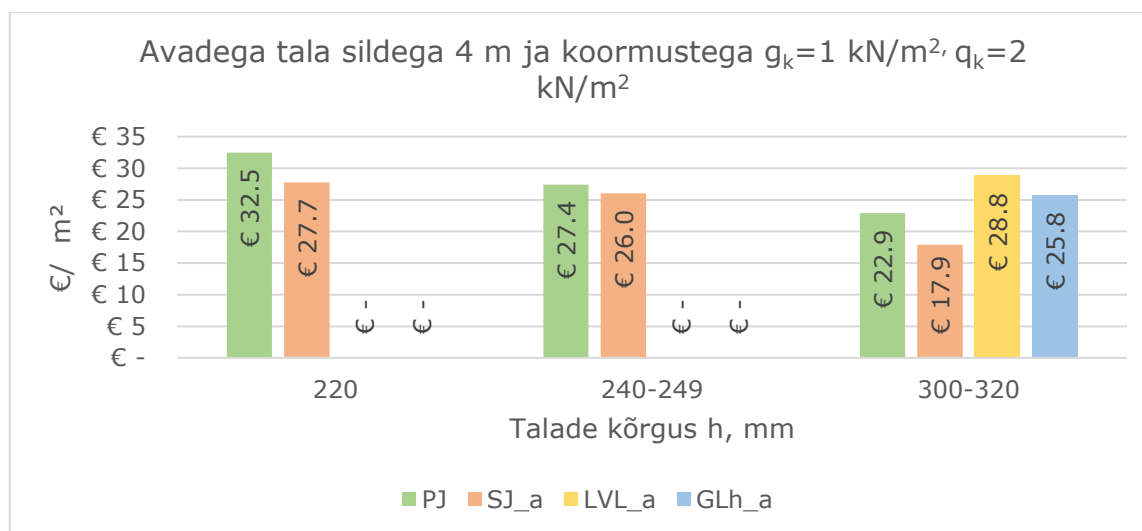
Kuiva ruumi talade maksumused 4-meetrise silde korral ilma avade maksumuseta on esitatud Joonis 3.6-l. 4-meetrise silde korral tuleb kõrgemate talade hind soodsam kui madalamatel taladel. Kõige madalamatel ja kõrgemate talade puhul on positala ja I-tala

hinnavahe suurem (33-47%) kui keskmiste talade puhul (16%). 240-249 mm kõrguste talade hulgas ei ole toodud liimpuittala ega LVL-tala hindasid, kuna vastavalt reeglitele ei ole lubatud isegi tugevdatud taladesse teha suuremaid avasid kui 40% tala kõrgusest ning 240 mm tala puhul oleks 120 mm ava juba 50% tala kõrgusest. 300 – 320 mm kõrguste talade hulgas on LVL-tala 61%, positala 47% ja liimpuittala 36% kallim kui I-tala.



Joonis 3.6 Augustamata kuiva ruumi talade maksumused 4-meetrise silde korral m^2 kohta

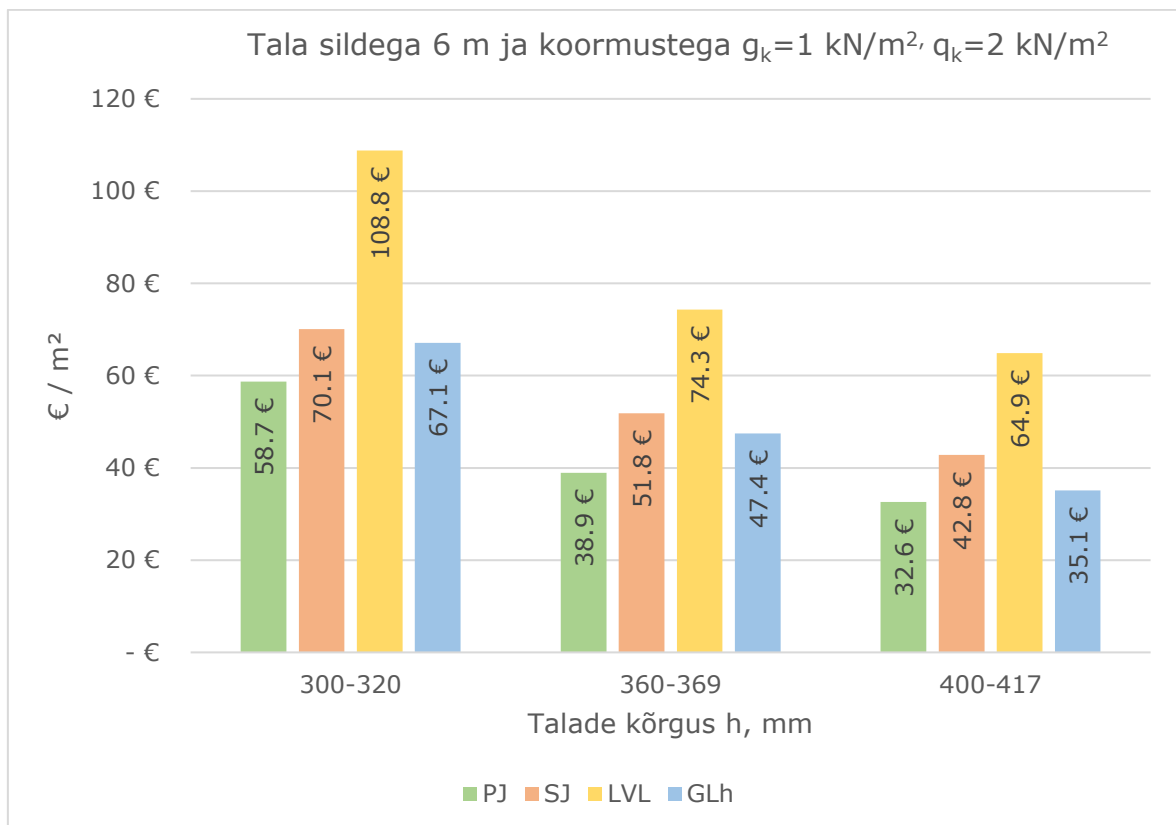
Kui arvestada talade augustamise hinda vastavalt alapeatükis 2.8 toodud põhimõtetele, siis oleks ühe ava puhul I-talal 220 mm kõrguse positala hind 17%, 249 mm kõrguse positala hind 5% ja 300 mm kõrguse positala hind 28% kallim kui I-talal. 300 mm kõrguse tala puhul oleks augustatud liimpuittala 44% ja LVL-tala 61% kallim kui I-tala. (Joonis 3.7)



Joonis 3.7 Augustatud kuiva ruumi talade maksumused 4-meetrise silde korral m^2 kohta

3.3.2 Sille 6 m – kuiv ruum

Kõige soodsamaks osutub 6-meetrise kuiva ruumi koormuste korral 417 mm kõrgune positala. 400 – 417 mm kõrguste talade hulgast on augustamata liimpuittala 8%, I-tala 31% ning LVL-tala pea kahe korra kallim kui positala. Kui võrrelda 360-369 mm kõrguseid talasid, siis on augustamata liimpuittala 22%, I-tala 33% ja LVL-tala koguni 91% kallim kui positala. Kõige madalamatest taladest on augustamata liimpuittala 14%, I-tala 19% ning LVL-tala 85% kallim kui positala. (Joonis 3.8)



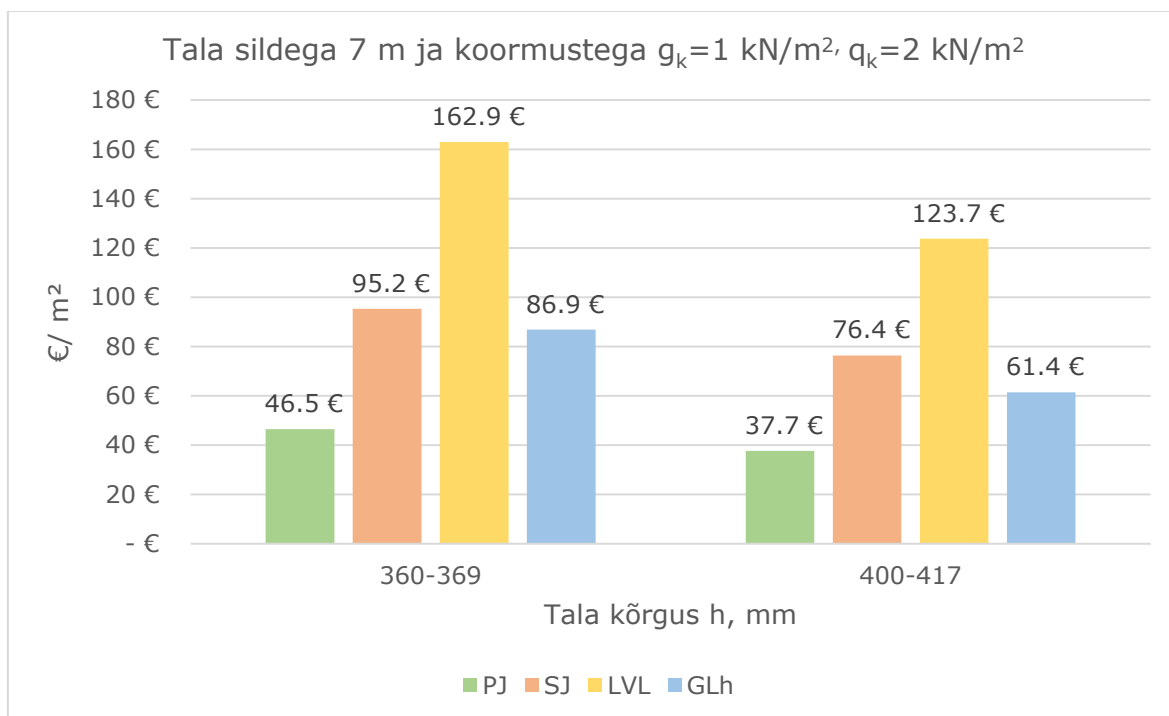
Joonis 3.8 Kuiva ruumi talade maksumuste erinevus 6-meetrise silde korral

Oluline on märkida, et üle 400 mm kõrguste STEICO I-talade puhul on kohustuslik kasutada tugede kohal tala seina jäigastust vastavalt lisas toodud juhistele (Lisa 5).

3.3.3 Sille 7 m – kuiv ruum

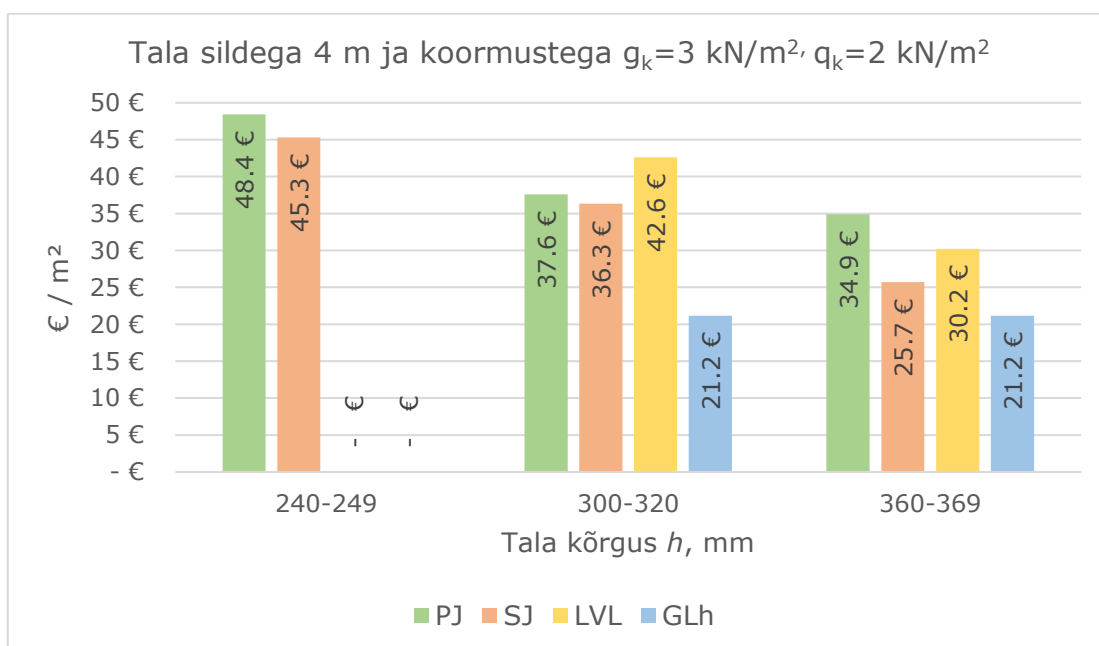
7-meetrise silde puhul on 360-369 mm kõrguste augustamata talade hulgas LVL-tala üle kolme korra, I-tala ligikaudu kahe korra kallim ning liimpuittala 85% kallim kui positala. 400 – 417 mm kõrguste talade hulgas on samuti üle kolme korra kallim LVL-tala, ligikaudu kaks korda kallim I-tala ning liimpuittala 61% kallim kui positala. 369

mm kõrgune positala on 24% kallim kui 417 mm kõrgune positala, kuid poole odavam, kui 360 mm kõrgune I-tala. (Joonis 3.9)



Joonis 3.9 Augustamata kuiva ruumi talade maksumused 7-meetrise silde korral m^2 kohta

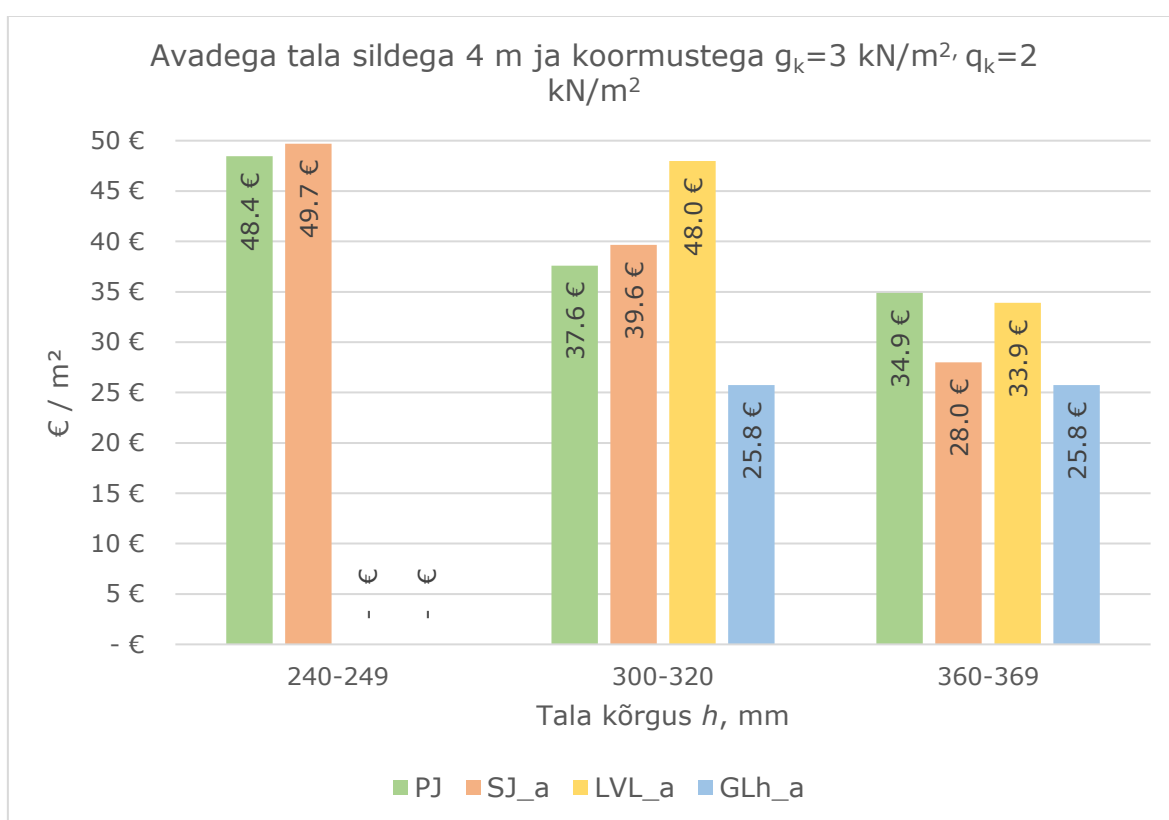
3.3.4 Sille 4 m – märg ruum



Joonis 3.10 Märja ruumi talade maksumused 6-meetrise silde korral m^2 kohta

Kõige odavamaks osutub augustamata 4-meetrise silde ja märja ruumi korral 320 mm kõrgune liimpuittala. 300 mm kõrgune LVL-tala on kaks korda kallim, positala 77% ja I-tala 71% kallim kui liimpuittala. Positala on 4% kallim kui I-tala. Madalamatest taladest on positala 7% kallim kui augustamata I-tala. (Joonis 3.10)

Kui arvestada augustamise hinda, siis on augustatud I-tala 3% kallim, kui 249 mm kõrgune positala. 300 mm kõrgune positala on 46%, I-tala 53% ning LVL-tala 86% kallim kui 320 mm kõrgune augustatud liimpuittala. 300 mm kõrgune augustatud I-tala on 5% kallim kui positala. 369 mm kõrgune positala on 25% kallim kui 300 mm kõrgune I-tala. (Joonis 3.11)

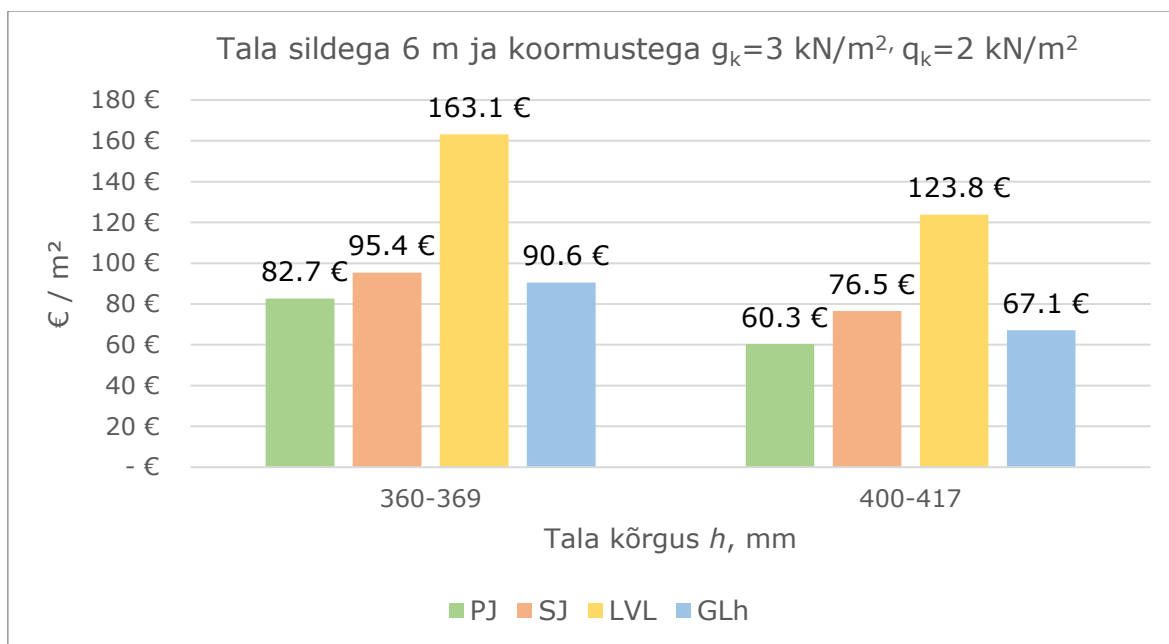


Joonis 3.11 Märja ruumi augustatud talade maksumused 6-meetrise silde korral m^2 kohta

3.3.5 Sille 6 m – märg ruum

Kõige odavamaks osutub märja ruumi 6-meetrise silde korral 417 mm kõrgune positala ja kõige kallimaks üle kahe korra kallim 360 mm kõrgune LVL-tala. 400 mm kõrgune augustamata liimpuittala on 11%, I-tala 27% ja LVL-tala 105% kallim kui positala. 360-369 mm kõrguste talade hulgast on augustamata liimpuittala 10%, I-tala 15% ja LVL-

tala 97% kallim kui positala. 369 mm kõrgune positala on 37% kallim kui 417 mm kõrgune positala. (Joonis 3.12)



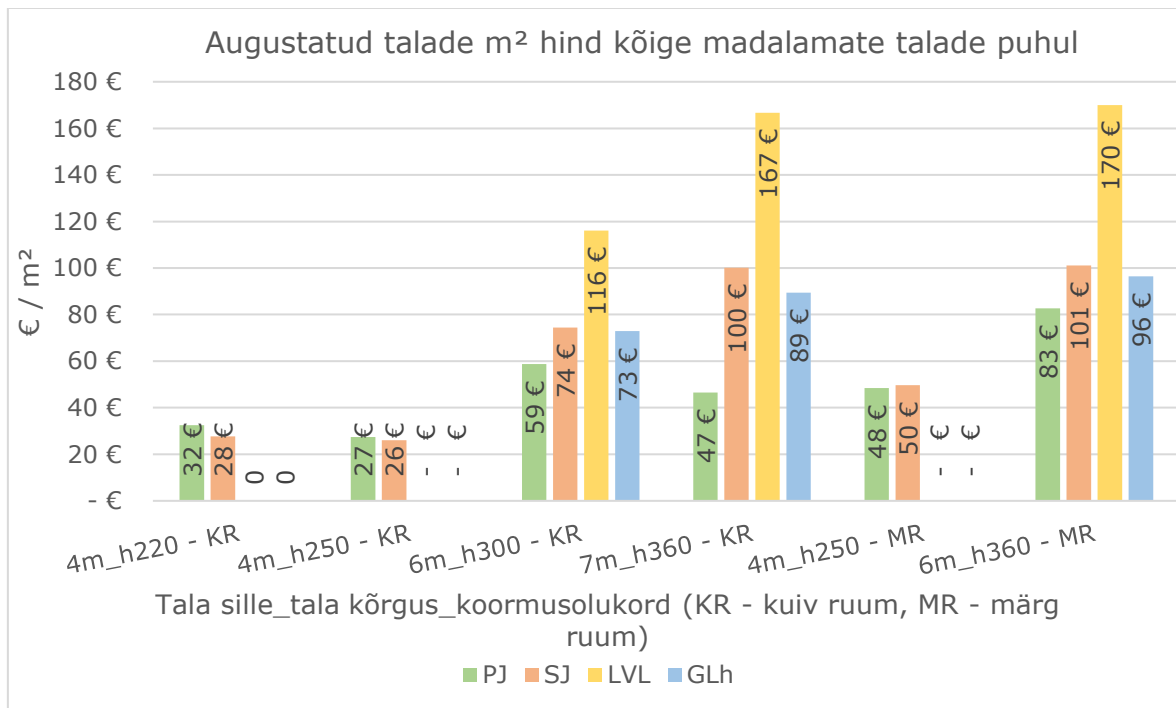
Joonis 3.12 Märja ruumi talade maksumused 6-meetrise silde korral m^2 kohta

3.4 Tulemuste analüüs ja järeldused

Kui arvestada seda, et enamasti eelistatakse kasutada võimalikult madalat konstruktsiooni, siis 4-meetri silde korral osutus odavaimaks augustamise hinda arvestades Steico I-tala, millest positala oli 4-14% kallim. Liimpuit- ja spoonliimpuit-talade ei olnud antud juhiste järgi võimalik võrreldavate tala kõrguste juures kasutada, kuna ava kõrgus oleks moodustanud 46-55% tala kõrgusest, kuid lubatud on maksimaalselt 40%. Märja ruumi koormustega oli 4-meetrise silde madalamate talade puhul (240 - 249 mm) augustamise hinda arvestades odavaim positala, millest Steico I-tala oli 4% kallim. Ka nende tala kõrguste juures ei olnud töös käsitletud augustamise juhiste järgi võimalik liimpuit- ja spoonliimpuit-talade kasutada.

Nii 7-meetrise silde kui 6-meetrise silde mõlema koormusolukorra puhul osutusid madalaimate talade hulgast kõige soodsamateks positalad. Talade augustamise hinda arvesse võttes oli 6-meetrise silde kuiva ruumi koormuse korral nii I-tala kui ka liimpuit-tala ligikaudu veerandi võrra kallimad ning 7-meetrise silde korral ligikaudu kaks

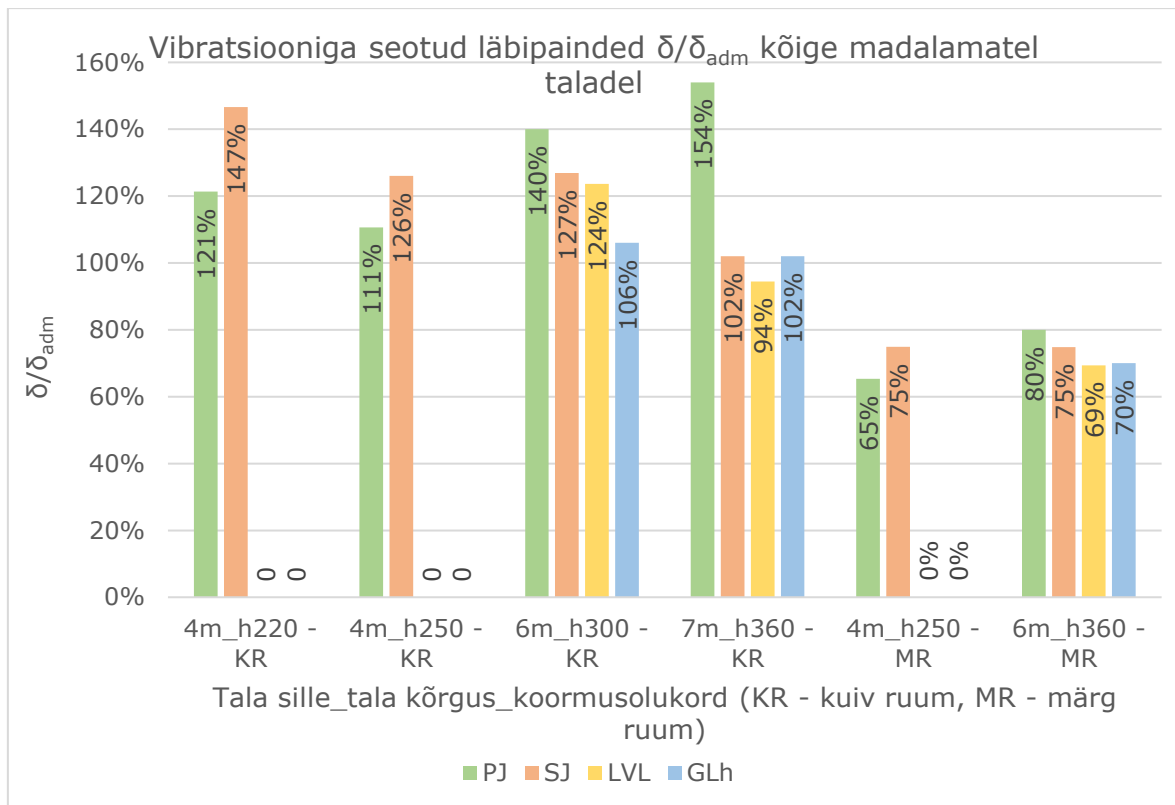
korda kallimad kui positala. 6-meetrise silde märja ruumi koormuse korral oli augustatud I-tala 22% ja liimpuittala 16% kallim kui positala. (Joonis 3.13)



Joonis 3.13 Augustatud talade m² hind kõige madalamate talade puhul

Kuiva ruumi koormuste ja kõige madalamate talade puhul sai määravaks ühikjõu poolt põhjustatud suurim pörandakonstruksiooni läbipaine, mille tingimusi täitis 22 mm paksuse OSB/3 plaadiga 7-meetrise silde korral 360 mm kõrgune spoonliimpuittala. I-tala ja liimpuittala ületasid soovituslike tingimusi 2%. Positalad ületasid soovituslikku läbipainet tunduvalt rohkem, kuna võrreldes liimpuittaladega, on dimensioneeritud positalade laiused väiksemad ning võrreldes LVL- ja I-taladega, on positalade samm suurem. Sellele vaatamata töötavad ka sellises olukorras positalad teiste tala tüüpidega võrreldes kõige optimaalsemalt. (Joonis 3.14)

Kõige vähem ületasid soovituslike väärtusi 4-meetrise silde korral positala (11%), ning 6-meetrise silde korral liimpuittala (6%). Märja ruumi koormuste korral sai liimpuit- ja spoonliimpuittalade dimensioneerimisel mõlema silde puhul määravaks samuti vibratsioon, kuid soovituslike läbipainete tingimusi täitsid kõik tala tüübid. 6-meetrise silde korral sai kergtalade dimensioneerimisel määravaks samuti vibratsiooni nõue. (Joonis 3.14) I-taladel sai 4-meetrise silde korral määravaks nihkepinge nõrgestatud lõikes ja positaladel sai määravaks varraste koormatus (Lisa 8).



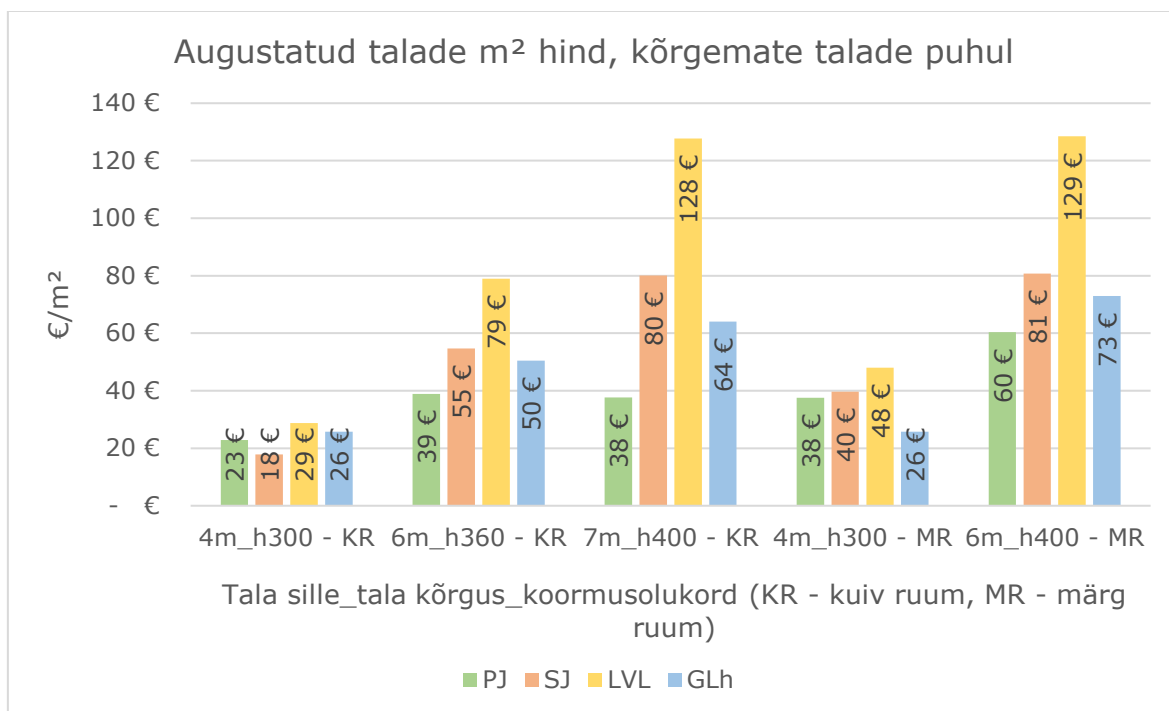
Joonis 3.14 Kokkuvõtte kõigi sillete madalamate talade vibratsiooniga seotud läbipainete suhe lubatud läbipaindesse

Tulemustest võib järeldada, et suuremate koormuste korral töötavad kõik madalamad talad vibratsioonist lähtudes optimaalsemalt kui väiksemate koormuste korral. Väiksemate sillete ja koormuste korral töötavad positalad optimaalsemalt ja on vibratsiooni suhtes vähem tundlikud kui I-talad. Suuremate sillete ja väiksemate koormuste korral on positalad vibratsiooni suhtes tundlikumad, kuid töötavad optimaalsemad kui teised talatüübid.

Kõrgemate talade korral osutus kuiva ruumi koormustega 4-meetri silde puhul odavaimaks augustatud I-tala, millest positala on 28% kallim. 4-meetrise silde ja märja ruumi koormustega oli kõrgemate talade puhul augustamise hinda arvestades odavaim liimpuittala, mis oli 32% odavam kui positala ning 35% odavam kui I-tala. (Joonis 3.15) Kuid arvestada tuleb sellega, et augustatud liimpuittalale lisandub veel ava tugevdamise hind, millega antud töös ei ole arvestatud.

Nii 7-meetrise silde kui 6-meetrise silde mõlema koormusolukorra puhul osutsid ka kõrgemate talade hulgast kõige soodsamateks positalad, millele järgnes liimpuittala ning seejärel I-tala. Talade augustamise hinda arvesse võttes oli 6-meetrise silde kuiva ruumi koormuse korral liimpuittala 28% ja I-tala 41% kallim, märja ruumi koormuste

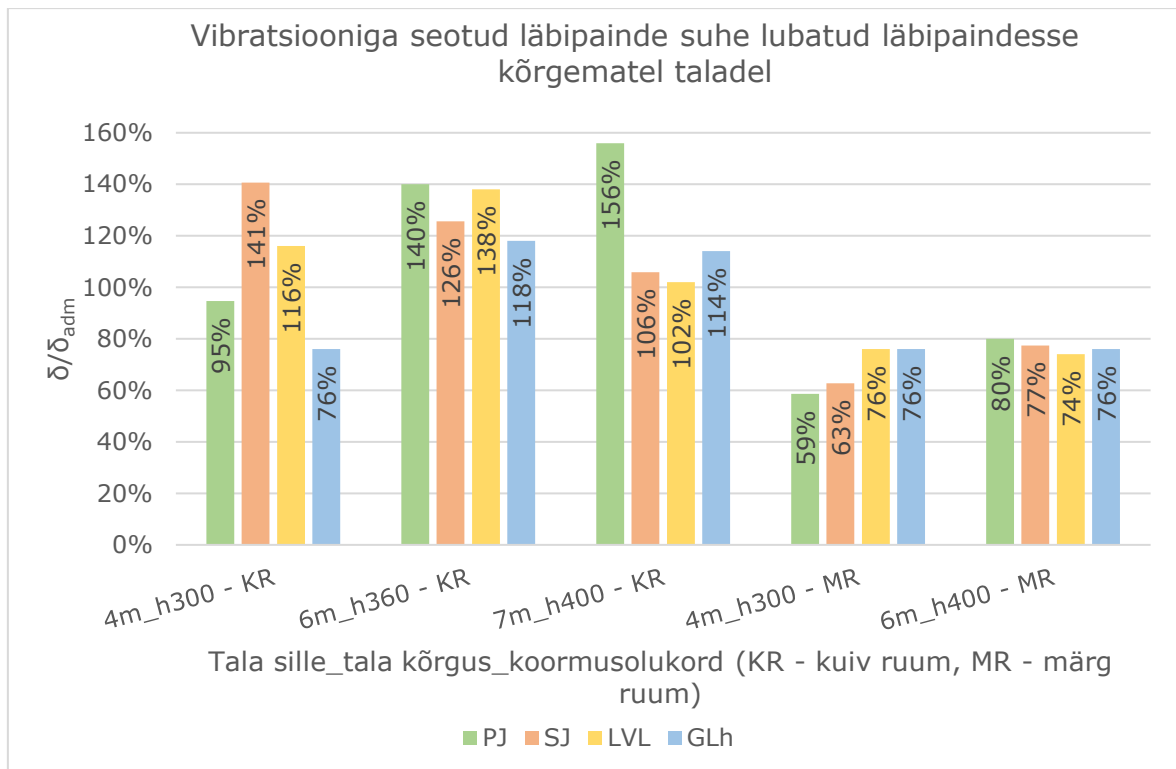
korral vastavalt 22% ja 35% ning 7-meetrise silde korral vastavalt 68% ja 105% kallim kui positala. (Joonis 3.15)



Joonis 3.15 Augustatud talade m² hind kõrgemate talade puhul

Kuiva ruumi koormuste ja kõrgemate talade puhul sai määravaks ühikjõu poolt põhjustatud suurim pörandakonstruksiooni läbipaine, mille tingimusi täitis 22 mm paksuse OSB/3 plaadiga 4-meetrise silde korral 300 mm kõrgune positala ning 320 mm kõrgune liimpuittala. 7-meetrise silde korral ületasid vähem soovituslike tingimusi LVL- ja I-tala, vastavalt 2% ja 6%. Märja ruumi koormustega nii 4- kui ka 6-meetrise silde korral täitsid kõik talatüübid vibratsiooni nõuetega seotud läbipainde tingimusi. (Joonis 3.16)

Märja ruumi koormuste korral sai 4-meetrise sildega I-taladel määravaks nihkepinge nõrgestatud lõikes. Nii 4- kui ka 6-meetrise sildega positaladel sai määravaks varraste koormatus. Ülejäänud talade dimensioneerimisel sai määravaks vibratsiooni nõue ja sellega seotud läbipaine. (Lisa 8)



Joonis 3.16 Kokkuvõtte kõigi sillete kõrgemate talade vibratsiooniga seotud läbipainete suhe lubatud läbipaindesse

Tulemustest võib järeldada, et kõige optimaalsemalt, lähtudes vibratsiooni nõuetega seotud läbipaindest ja tavaläbipaindest, töötavad positalad. Positalade märgatav eelis tuleneb siinkohal metallvarraste suurest elastsusmoodulist, mis suurendavad ristlõike paindejäikust. I-talad töötavad vibratsioonist lähtudes mõnevõrra optimaalsemalt kui liimpuittalad (sh spoonliimpuittalad). See on ka tõenäoliselt üks põhjustest, miks liimpuittalasid kasutatakse suurte sillete korral katusekonstruktsioonides või servataladena, kuid harva põrandataladena. Seega hüpotees, et kergtalad töötavad vibratsiooni nõuetest lähtudes optimaalsemalt kui liimpuittalad, osutus tõeseks.

KOKKUVÕTE

Käesoleva magistritöö käigus anti ülevaade elamute vahelaetalade maksumuse ja augustatud puittalade kohta tehtud teadustöödest. Uuriti Eestis ja Euroopa riikides saadaolevate liimpuit- ja spoonliimpuittalade tootjate poolseid augustamise nõudeid ja juhendeid ning võrreldi neid erinevates käsiraamatutes, Eurokoodeks 5 rahvuslikes lisades ning teadustöodes toodud juhistega. I-talade puhul võrreldi erinevate tootjate sarnase geomeetriaga talasid ja nende augustamise juhendeid.

Antud töös võrreldi puit-metallsõrestikest, puidust I-taladest, liimpuittaladest ja spoonliimpuittaladest läbiviikude jaoks augustamise vajadusega vahelagede kandekonstruktsioonide maksumusi, arvestades nii tala kandevõimet, läbipainet, vibratsiooni kui ka paigaldamise lihtsust. Töö käigus selgus, et nõrgestatud liimpuidu ja spoonliimpuidu kandevõime määramine pole otstarbekas, kuna positalad ning I-talad osutusid augustamise hinda arvesse võttes soodsamaks. Liimpuidust ja spoonliimpuidust talad osutusid kallimaks, kuna nad on vibratsiooni-tundlikumad kui positalad ning I-talad ehk läbipainde ja vibratsiooni tingimustega seotud läbipainete erinevus on liim- ja spoonliimpuidust vahelaetaladel suurem kui positaladel ja I-taladel.

Saadud tulemuste põhjal osutus 4-meetrise kuiva ruumi tingimustes kõigi tala kõrguste puhul odavamaks Steico I-tala. Augustamise hinda arvestades oli positala 5-28% kallim kui Steico I-tala. 4-meetrise märja ruumi tingimustes oli augustamise hinda arvestades odavaim 360 mm kõrgune Steico I-tala, mis oli 20% odavam kui 369 mm kõrgune positala. Keskmiste tala kõrguste puhul (300 - 320 mm) osutus odavamaks 320 mm kõrgune liimpuittala, mis oli 13% odavam kui 300 mm kõrgune positala ja 17% odavam kui augustatud Steico I-tala. Madalamate talade puhul (240 - 249 mm) oli augustamise hinda arvestades odavaim positala, mis oli 3% odavam kui Steico I-tala.

6-meetrise silde mõlema koormusolukorra puhul ja 7-meetrise kuiva ruumi olukorra puhul osutus kõikide võrreldud talakõrguste lõikes odavamaks positala. Kuiva ruumi 6-meetrise silde puhul olid augustamata Steico I-talad 19-33% kallimad ja märja ruumi puhul 15-27% kallimad kui positalad. Kuiva ruumi 7-meetrise silde korral olid augustamata Steico I-talad üle kahe korra kallimad kui positalad. Kui lisada taladele ka augustamise hinnad, on maksumuste erinevused võrreldes positaladega, mis augustamist ei vaja, veelgi suuremad.

Teiseks eesmärgiks oli võrrelda vahelaetalade optimaalset töötamist kasutuspiir- seisundis. Kõige optimaalsemalt töötasid kõikide sillete korral positalad. Hüpotees, et

puidust vahelaetalade dimensioneerimisel saab määravaks vibratsioon ja kõige optimaalsemalt töötavad kergtalad, osutus suuremas osas tõseks. Vibratsioon ja vibratsiooni nõuetega seotud läbipaine sai määravaks 47 korral 57st ehk ca 82% juhtudest, viiel korral (ca 9%) sai määravaks positalade varraste koormatus, kolmel korral (ca 5%) Steico I-talade kriitilised pinged nõrgestatud ristlõikes ning kahel korral (ca 4%) sai määravaks positalade läbipaine.

Töö kolmandaks eesmärgiks oli võrrelda I-talade dimensioneerimisel nõrgestusega ristlõikes kriitiliste pingete mõju vibratsiooni nõuetega, et kumb saab määravaks. Tulemustest on näha, et 17st dimensioneeritud talast kahele ei oleks tohtinud minimaalsele lubatud kaugusele antud geomeetriaga nõrgestust teha. Nõrgestus sai määravaks kõigi viie märja ruumi 4-meetrise sildega I-tala puhul. Seega osutus hüpoteesi üks pool, et oluline on kontrollida augustamist vajavate talade nõrgestatud ristlõikes tekkivaid pingeid, tõseks. Hüpoteesi esimene pool, et puidust vahelaetalade dimensioneerimisel saab määravaks vibratsioon, osutus suuremas osas tõseks, kuna 17st dimensioneeritud positalast neljal sai määravaks varraste koormatus ning ühel juhul sai määravaks läbipaine ehk ligikaudu 70% dimensioneeritud kergtaladest ja 100% liimpuittaladest sai määravaks vibratsiooni tingimustega seotud läbipaine.

Saadud tulemuste põhjal pakuvad positaladele väikeste sillete ja koormuste korral hinna pooles konkurentsi Steico I-talad ning suuremate koormuste korral liimpuittalad. Kuid rohkemate aukude ning liimpuittalade võimaliku tugevdusvajaduse korral muutub eelis väiksemaks. Suuremate sillete, antud töös 6 ja 7-meetrise, puhul osutusid odavamaks positalad. 7-meetrise silde korral oli augustamata talade hinnavahe kõige suurem. Steico I-talad ja liimpuittalad osutusid ligikaudu kaks korda ning Steico LVL-R talad kolm korda kallimaks kui positalad. Kõige väiksem oli hinnavahe märja ruumi 4-meetrise silde korral. Arvestades eeltoodut on majanduslikult otstarbekas kasutada positalasid kui suurem osa silletest on üle 6 meetri või kui aukude tegemisele kuluv ressurss on suurem. Kui suurem osa silletest jäävad alla 6 meetri ja augustamisele kuluv ressurss on piisavalt väike, siis I-talad.

Element- ja moodulmajade juures mängivad veel olulist rolli tootmisaeg ja inimressursi olemasolu. Kui tootmisega on kiire või inimressursid piiratud, on mõistlikum kasutada I-talad, kuna ilmselt on hulгимүүги hinnad majatehastele soodsamad. Aga kui tehases on tööd vähem, paigalduseaeg on piiratud või silded suuremad, on mõistlikum kasutada positalasid, kuna sellisel juhul ei ole vaja muretseda, kuidas kommunikatsioonid saavad läbi vahelae veetud. Liimpuittalade ja spoonliimpuittalade tugevust ei saa vahelagedes

realiseerida eelkõige vibratsiooni pärast. Samuti on keerulisem talade augustamine, tugevdamine ja paigaldamine.

Antud töös vaadeldi jaotatud koormusega olukordi, kuid praktiline vajadus oleks uurida ka koondatud koormuse olukordi. Seoses kommunikatsioonide kasutamise kasvuga võiks uurida veel teiste vahelaetüüpide maksumust ja konstruktsiooni kogupaksust, kui arvestada kommunikatsioonide jaoks rajatavate ripplagede või püstakutega. Samuti võiks uurida kergtalade akustilisi omadusi võrreldes alternatiivsete vahelaetüüpidega.

SUMMARY

The purpose of the Master's thesis was to compare the cost of perforated timber constructions in ceiling solutions for residential buildings. The thesis is divided into three parts. The first part describes the theories and practices of making openings into different timber beams and reviews earlier studies of ceiling costs and ceiling constructions with openings. It also gives an overview of different beam types, materials and design instructions. The second part examines the specific calculation methods and cost calculation methods based on beam types. The third part presents calculation results, their analysis and cost comparison. The annexes of the Master's thesis contain printouts from the programs used for dimensioning, calculation checks and instructions that must be considered when using and perforating different beams.

The study deals with four different ceiling constructions of timber: Posi-Joist, wooden I-joist, homogeneous glued laminated timber (glulam/GLh) and laminated veneer lumber (LVL) beams. The construction types were chosen by their capability to allow openings for services and utilities installations. The ceiling structures were checked for ultimate limit state (ULS) and serviceability limit state (SLS). The latter includes requirements of vibration for residential floors. Posi-Joists and glulam beams have been dimensioned using the MiTek program PAMIR, and Steico I-joists and LVL-R joists have been dimensioned using the STEICOxpress program. In addition to the cost comparison also the simplicity of installation is important. The extra cost of making openings in I-joist, glulam and LVL beams was taken into consideration. In the course of research for this Master's thesis it became evident that there is no point in calculating the load-bearing capacities of glulam or LVL with openings in the beams, because when considering the cost of making openings, the Posi-Joists and Steico I-joists were cheaper than LVL and glulam beams. The higher cost of LVL and glulam ceiling beams is explained by their higher sensitivity to vibration compared to lightweight beams.

Based on the obtained results, the Steico I-joist was the cheapest for all beam heights in the conditions of a 4-meter dry room. When considering the cost of making openings, the Posi-Joist was 5 to 28% more expensive than the Steico I-joist. In the conditions of a 4-meter wet room, the 360 mm high Steico I-joist was the cheapest, being 20% cheaper than the 369 mm high Posi-Joist. For medium beam heights (300 to 320 mm), the cheapest beam was 320 mm high glulam beam, which was 13% cheaper than 300 mm high Posi-Joist and 17% cheaper than a perforated Steico I-joist. In the case of lower beams (240 to 249 mm), the cheapest in terms of perforation cost was Posi-Joist, which was 3% cheaper than Steico I-joist.

For both load situations of the 6-meter rooms and in the case of 7-meter dry rooms, the cheapest for all compared beam heights was Posi-Joist. In the case of a 6-meter span in a dry room, unperforated Steico I-joists were 19 to 33% more expensive and in the case of a wet room 15 to 27% more expensive than Posi-Joists. In the conditions of a 7-meter span in a dry room, unperforated Steico I-joists were more than twice as expensive as Posi-Joists. Differences in cost compared to Posi-Joists are even bigger if the prices of perforation are added to the I-joist/LVL/glulam beams' prices, because Posi-Joists do not need perforation.

The second aim was to compare the optimal performance of beams in the serviceability limit state. Posi-Joists performed most optimally for all spans. The hypothesis that in dimensioning timber beams, vibration will be the determining factor and lightweight beams perform most optimally turned out to be mostly true. The determining factors were as follows: vibration and deflection related to vibration requirements – in 47 cases out of 57, i.e. in 82% of the cases; the stress of the webs of the Posi-Joists – in five cases (approx. 9%); critical stresses of the Steico I-joist in the weakened cross-section – in three cases (approx. 5%); the deflection of Posi-Joists – in two cases (approx. 4%).

The third aim of the study was to compare the effect of critical stresses in the weakened I-Joist with the effect of I-joist vibrations. The results show that two out of the 17 dimensioned beams should not have been perforated to the minimum allowable distance by the given geometry. The perforation became the determining factor for all of the five wet room I-joists with a 4-meter span. Therefore, the hypothesis – that it is important to check the stresses in the weakened cross section of the beams – turned out to be true.

Based on the results, for small spans and loads, Steico I-joists are in price competition with Posi-Joists, and for higher loads the same applies to glulam beams. However, with more openings and the possible need for reinforcement of glulam beams, the advantage becomes smaller. In the case of larger spans – 6 and 7 meters in this study – Posi-Joists turned out to be the cheapest. In the case of a 7-meter span, the price difference for unperforated beams was the largest, and in the case of a 4-meter span in wet room load conditions, the difference was the smallest. Steico I-joists and glulam beams turned out to be twice and Steico LVL-R beams three times more expensive than Posi-Joists. Considering these results, it is economically advisable to use Posi-Joists if most of the spans are 6 meters or more, or if the resource required to make openings is bigger. If

most of the spans are less than 6 meters and the resource required for perforating is small enough, then it is economically advisable to use I-joists.

Production time and the availability of human resources also play an important role in prefabricated and modular houses. If the production must be quick or human resources are limited, it is more sensible to use I-joists, as wholesale prices are probably cheaper for factories. However, if there is less work in the factory, installation time is limited or spans are longer, it is more advisable to use Posi-Joists because in this case there is no need to worry about getting the communications through the ceiling. The strength of glulam and LVL-beams cannot be put to use primarily due to vibration. It is also more difficult to make openings, reinforce and install heavier beams.

In this study, situations with distributed load were studied, but there is practical need to also study the effect of concentrated load on lightweight beams. As there is an increase in the use of communications, the cost of other types of ceilings and the total thickness of the structure with consideration to suspended ceilings or shafts for communications could be investigated in future studies. Additionally, the acoustic properties of lightweight ceiling constructions could be investigated in further studies.

KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

- [1] P. Toomik, „Augustatud puitprussist ja puitlaastplaadist liitristlõikega põrandatala arvutused“, Magistritöö, Tallinna Tehnikaülikool, 2014.
- [2] R. Kapp, „Augustatud puittalade uurimine“, Magistritöö, Eesti Maaülikool, 2015.
- [3] T. Neeme, „Elamute Vahelagede Lahenduste Võrdlus“, Magistritöö, Eesti Maaülikool, 2015.
- [4] M. Ardalany, „Analysis and Design of Laminated Veneer Lumber Beams with Holes“, Ph.D, University of Canterbury, 2012.
- [5] E.-J. Just, K. Õiger, ja A. Just, *Puit- ja puidupõhised konstruktsioonid*. Tallinn: TTÜ KIRJASTUS, 2015.
- [6] Metsä Wood, „LVL Handbook Europe“, 2019. [Online]. Available at: <https://www.metsawood.com/global/tools/materialarchive/materialarchive/lvl-handbook.pdf>.
- [7] VTT Technical Research Centre of Finland Ltd, „VTT nr 184/03“, 2016. [Online]. Available at: <https://www.metsawood.com/global/Tools/MaterialArchive/MaterialArchive/Kerto-VTT-C-184-03-Certificate.pdf>. [Vaadatud: 25-mai-2020].
- [8] STEICO, „Design Guide STEICO LVL“, 2019. [Online]. Available at: https://www.steico.com/fileadmin/steico/content/pdf/Marketing/International/Construction_Guides/STEICO_Construction_Guide_LVL_en_i.pdf. [Vaadatud: 25-mai-2020].
- [9] StoraEnso, „LVL by Stora Enso Technical brochure“, 2018. [Online]. Available at: <https://www.storaenso.com/-/media/documents/download-center/documents/product-brochures/wood-products/lvl-by-stora-enso-technical-brochure-en.pdf>. [Vaadatud: 26-apr-2020].
- [10] F. Kase, „Eestisse liittalade tehase rajamise tasuvuse hindamine“, Magistritöö, Tartu Ülikool, 2017.
- [11] STEICO, „Technical guide STEICO construction“, 2018.
- [12] Eurofins Expert Services LTD, „European Technical Assessment ETA-02/0026“, 2018. [Online]. Available at: <https://www.metsawood.com/global/tools/materialarchive/materialarchive/eta-finnjoist-i-joist-fji.pdf>. [Vaadatud: 25-mai-2020].
- [13] RISE Research Institutes of Sweden AB, „ETA 12/0018“, 2018. [Online]. Available at: <https://www.masonitebeams.se/media/2745/180814-eta-12-0018.pdf>. [Vaadatud: 25-mai-2020].
- [14] British Board of Agreement, „European Technical Assessment ETA-06 / 0238“, 2019. [Online]. Available at:

- https://www.steico.com/fileadmin/steico/content/pdf/Certificates_-_Documents/German/Dokumente_Stegtraeger/STEICO_ETA-06-0238i7_STEICOjoist_and_STEICOwall_engl.pdf. [Vaadatud: 25-mai-2020].
- [15] MiTek, „The Posi-Joist Technical Handbook”. [Online]. Available at: https://irp-cdn.multiscreensite.com/b9e44cf6/files/uploaded/Posi_Joist_-_Technical_Handbook_%28Issue_7%29.pdf. [Vaadatud: 25-mai-2020].
- [16] „MiTek Baltic kodulehekülg”. [Online]. Available at: <https://www.mitekbalitic.lv/et/products/posi-joists/>. [Vaadatud: 30-märts-2020].
- [17] Vesmont Majakeskus OÜ, „Sölmed”. [Online]. Available at: <http://www.vesmont.ee/index.php?id=1206>. [Vaadatud: 25-mai-2020].
- [18] Moduland OÜ, „Laed”. [Online]. Available at: <https://moduland.ee/laed/>. [Vaadatud: 24-mai-2020].
- [19] MiTek Baltic, „MiTek Baltik kodulehekülg”. [Online]. Available at: <https://www.mitekbalitic.lv/et/manufacturers/>. [Vaadatud: 27-apr-2020].
- [20] VTT Expert Services LTD, „European Technical Assessment ETA-17 / 0941”, 2018. [Online]. Available at: https://www.vvr.fi/wp-content/uploads/2018/09/ETA-17_0941_VVR-kerto-ripa_-final.pdf. [Vaadatud: 25-mai-2020].
- [21] MiTek, „European Technical Assessment ETA-07/0161”, nr May, lk 1–39, 2018.
- [22] „Eurokoodeks 5. Puitkonstruktsioonide projekteerimine. Osa 1-1: Üldist. Üldreeglid ja reeglid hoonete projekteerimiseks : Eesti standard EVS-EN 1995-1-1:2005+A1+NA+A2. Tallinn : Eesti standardikeskus, 2005.”, Eesti Standardikeskus.
- [23] SVENSKT TRÄ, „Limträhandbok Del2”, 2016. [Online]. Available at: <https://www.svensktra.se/siteassets/5-publikationer/pdf/er/limtrahandbok-del-2-svenska-2018.pdf>. [Vaadatud: 24-mai-2020].
- [24] SVENSKT TRÄ, „Limträhandbok Del 3”, 2016. [Online]. Available at: <https://www.svensktra.se/siteassets/5-publikationer/pdf/er/limtrahandbok-del-3-svenska-2018.pdf>. [Vaadatud: 24-mai-2020].
- [25] Metsä Wood, „Kerto-Q LVL manual”, 2016. [Online]. Available at: <https://www.metsawood.com/global/tools/materialarchive/materialarchive/kerto-q-manual-lvl-q-panel.pdf>. [Vaadatud: 25-mai-2020].
- [26] „Eurokoodeks 1. Ehituskonstruktsioonide koormused. Osa 1-1: Üldkoormused. Mahukaalud, omakaalud, hoonete kasuskoormused : Eesti standard EVS-EN 1991-1-1:2002. Tallinn : Eesti Standardikeskus, 2002.”, Eesti Standardikeskus.
- [27] Tervemaja OÜ, „STEICO toodete hinnakiri 2016”, 2016. [Online]. Available at: https://www.tervemaja.ee/wp-content/uploads/2017/02/Steico-hinnakiri-2016_uus-1.pdf. [Vaadatud: 31-märts-2020].

LISAD

Lisa 1 Omakaalu arvutused

Kuiv pörand			
Kihi nimi	Kihi paksus (mm)	mahukaal (kN/m³)	Kihi kaal (kN/m²)
Pörandakate, parkett			0,1
Koormusjaotusplaat	12	8	0,1
Pörandaküttetorustik			0,1
Sammumüra plaat	13	1,2	0,02
OSB/3	22	8	0,18
ÜLEMINE VÖÖ:			0,5
TALA OMAKAAL		vastavalt talatüübile	
Talade vahel vill, 200 mm	200	1	0,2
OSB/3 / kipsplaat	25	8	0,2
Siseviimistlus			0,1
ALUMINE VÖÖ:			0,5
KUIV RUUM KOKKU:			1,0

Märg pörand			
Kihi nimi	Kihi paksus (mm)	mahukaal (kN/m³)	Kihi kaal (kN/m²)
Pörandakate			0,1
OSB 3	12	8	0,2
Sammumüra plaat	13	1,2	0,02
RB 80 mm + pörandaküte	80	25	2
OSB 3	22	8	0,18
ÜLEMINE VÖÖ:			2,5
TALA OMAKAAL		vastavalt talatüübile	
Talade vahel vill, 200 mm	200	1	0,2
OSB 3/kipsplaat	25	8	0,2
Siseviimistlus			0,1
ALUMINE VÖÖ:			0,5
MÄRG RUUM KOKKU:			3,0

Truss calculation performed with computer program Pamir

Version: 8.1 SR1b (114666)
 Program developed by: MiTek Europe

Timber parameters

Timber group	Joints	Cross section mm	Grade	Bracing mm/no.	SSI % No	LC % No	CSI % No	LC % No	CSI Type
Top chord Left	1-2	140x400	GL28h	Sheeting	15	14	23	14	Max. combined CSI

Project ID

Project code : GF2
 Job number :
 Code type number : GF2
 Drawing number :



General project parameters

Basis of structural design EN 1990:2002 + A1:2005 + EE NA:2002
 Design of timber structures EN 1995-1-1:2004 + A2:2014 + EE NA:2007 + A1:2008 + EE NA:2009
 Dead load and live load EN 1991-1-1:2002 + EE NA:2002
 Manufacturing inspection No
 Service class 1 = RH < 65%
 Load sharing factor 1.1
 Spacing 600 mm
 Number of plies 1

Deviating parameters that apply to this part of the truss are specified in the "Timber parameters" table.
 The shape of the truss is shown in the accompanying drawing.
 Forces are calculated according to first order deflection theory.
 Effect of shear deformation has been taken into account.

Standard loads

Dead load

Floor 1000 N/m²

Self-weight has been added

Live load

ID	Type	Value N/m ²	Joint Number	Offset mm	Joint Number	Offset mm	Distribution mm
LL3	Inside room	2000	1	0	2	0	7050

Material values

Grade	E0,mean N/mm ²	Gmean N/mm ²	f _{m,k} N/mm ²	f _{t,0,k} N/mm ²	f _{t,90,k} N/mm ²	f _{c,0,k} N/mm ²	f _{c,90,k} N/mm ²	f _{v,k} N/mm ²	ρ _k kg/m ³	γ _M
GL28h	12600	650	28	22.3	0.5	28	2.5	3.5	425	1.25

Load combinations

ID Load duration Name

Ultimate limit state

1	Permanent	1.35*Dead
14	Medium-term	1.20*Dead + 0.75*Uniform snow + 1.05*(LL1 + LL2 + LL4) + 1.50*LL3

Serviceability limit state

1006:1	Medium-term	1.00*(LL3 + Dead) + 0.50*Uniform snow + 0.70*(LL1 + LL2 + LL4): Winst
1006:2	Medium-term	1.00*(LL3 + Dead) + 0.50*Uniform snow + 0.70*(LL1 + LL2 + LL4): Wfin

Vibrational

2000	Instantaneous	1.00*Vibration
------	---------------	----------------

Partial results from design in worst load combination

Load comb.: 14 | kh: 1.04 | kmod: 0.8 | γM: 1.25 | Lateral buckling factor: 1 | Bending capacity factor: 1
 kv: 1 | kor: 0.67 | Axial force N: 0 | Axial CSI %: 0.0

Member Joints	Dist. mm	Dist. %	Depth mm	Grade	Buckling length mm	Moment kNm	Shear force N	Bending CSI %	Shear CSI %	Torsion CSI %	Equ. %	Max CSI %
1-2	3525	50	400	GL28h	7000x	17.29	0	22.6	0.0	22.6	6.11	22.6
	7000	99			0	0.24	-9811	0.4	14.3	0.4	6.13	14.3

Max/Min support reactions (ultimate)

Joint Number	Dir.	Perm. Lc	Long Lc	Medium Lc	Short Lc	Inst. Lc	Unit
1	VER.Max	4058	1	0	-	9952	14
	Min	4058	1	0	-	9952	14
2	VER.Max	4058	1	0	-	9952	14
	Min	4058	1	0	-	9952	14

Frame

Joint Number	Actual mm	Req. width mm	Lc	Req. effective area mm ²	kc90	fc,k N/mm ²	Timber resistance N	Plate resistance N	CSI %
1	50	10	14	4200	1.75	2.5	34496	0	28.9
2	50	12	14	3360	1.75	2.5	34423	0	29.0

Deflection summary

Type	Member Joints	Span	Situation	LC	Allowed L/X	Allowed mm	Actual L/X	Actual mm	Ratio %
Floor	1-2	Global	Winst	1006:1	400	17.5	969	7.2	41.3
Support	2	-	Wfin	1006:2	-	20	-	-	-

Vibration check

Interacting strut wall Yes
 Interacting bottom floor sheet Yes
 Interacting ceiling No
 Floor width 6000 mm
 Max side length of room 7000 mm

Materials

Type	Material	Thickness mm	E modulus N/mm ²
Floor sheet	OSB 3 22mm	22	4930
Ceiling	13 mm Gypsum	13	0

Span

Free span mm	Continous floor	Span type	Floor joist height mm	Grade	Size mm	Spacing mm	Floor height mm	Extra weight kg/m ²	Total weight kg/m ²	Modal damping ratio
6950	No	Simply supported	400	GL28h	140 x 400	600	435	0	206.09	0.01

Fundamental frequency Hz	Allowed Minimum Fundamental frequency Hz	Deflection under a 1kN point load mm	Allowed Maximum Deflection mm	Effective strongback quantity	Strongest strongback size/grade	Floor sheet local deflection mm	Allowed floor sheet local deflection mm	Unit impulse velocity response mm/Ns ²	Allowed unit impulse velocity response mm/Ns ²	Vibration result
8.97	9	0.57	0.5		45 x 245 C24	0.52	0.5	3.98	10.45	Failed

L 2.1 Programmi PAMIR kontrollarvutus liimpuittala järgi

Üldandmed

Tala üldpikkus	$L = 7050 \text{ mm}$
Toe pikkus	$l_{sup} = 50 \text{ mm}$
Tala efektiivpikkus	$l_{ef} = 7000 \text{ mm}$
Tala silde pikkus	$l_{sille} = 6950 \text{ mm}$
Tala laius	$b = 140 \text{ mm}$
Tala kõrgus	$h = 400$
Talade samm	$s = 600 \text{ mm}$

Materjali omadused

Keskmine tihedus	$\rho_{g, GL28h} = 4,6 \text{ kN/m}^3$
Normatiivne ristikiudu survetugevus	$f_{c,90,k} = 2,5 \text{ N/mm}^2$
Normatiivne paindetugevus	$f_{m,k} = 28 \text{ N/mm}^2$
Normatiivne nihketugevus	$f_{v,k} = 3,5 \text{ N/mm}^2$
Elastsusmooduli 5-protsentiili väärtus	$E_{mean} = 12600 \text{ N/mm}^2$
Nihkemooduli keskvärtus	$G_{mean} = 650 \text{ N/mm}^2$

Osavarutegurid

Alalisel koormusel	$\gamma_G = 1,2$
Kasuskoormusel	$\gamma_Q = 1,5$
Materjali omaduste osavarutegur (liimpuit)	$\gamma_M = 1,25$
Modifikatsioonitegur	$k_{mod} = 0,8$
Koormuse konfiguratsiooni arvestav tegur, liimpuidu puhul	$k_{c,90} = 1,75$
Nihkekandevõime pragunemistegur	$k_{cr} = 0,67$

Koormused

Tala omakaal	$g_{k, GL28} = \frac{b_w * h * \rho_{k, GL28}}{s} = 430 \text{ N/m}^2$
Põranda omakaal	$q_k = 1,0 \text{ kN/m}^2 + g_{k, GL28} = 1430 \text{ N/m}^2$
Kasuskoormus (klass A)	$q_k = 2,0 \text{ kN/m}^2$
Arvutuslik joonkoormus	$p_{jd} = s(\gamma_G g_k + \gamma_Q q_k) = 2830 \text{ N/m}$

Ristikiudu surve ehk toe muljumine

Arvutuslik nihkejõud toel	$V_d = \frac{p_{jd} * l_{ef}}{2} = 9,9 \text{ kN}$
Efektiivne kontaktpind ristikiudu survele	$A_{ef} = b (l_{sup} + 30 \text{ mm}) = 11200 \text{ mm}^2$
Arvutuslik ristikiudu survepinge toel	$\sigma_{c,90,d} = \frac{V_d}{A_{ef}} = 0,88 \text{ N/mm}^2$

Toe arvutuslik kandevõime $f_{c,90,d} = \frac{k_{mod} * f_{c,90,k} * k_{sys} * k_{c,90}}{\gamma_M} = 3,08 \frac{N}{mm^2}$

Varutegur $\sigma_{c,90,d}/f_{c,90,d} = 0,29$ ehk 29%

Paindekandevõime kontroll

Arvutuslik paindemoment tala keskel $M_{d,max} = \frac{p_{jd} * l_{ef}^2}{8} = 17,3 \text{ kNm}$

Ristlõike vastupanumoment $W_y = \frac{b_w h^2}{6} = 3733 \text{ cm}^3$

Paindepinge tala keskel $\sigma_{m,d} = \frac{M_{d,max}}{W_y} = 4,64 \text{ N/mm}^2$

Ristlõike kõrguse tegur paindel $k_h = \min \left\{ \begin{array}{l} 1,1 \\ \left(\frac{600 \text{ mm}}{h} \right)^{0,1} \end{array} \right. = 1,04$

Süsteemi tugevustegur $k_{sys} = 1,1$

Paindekandevõime $f_{m,d} = \frac{k_{mod} * f_{m,k} * k_h * k_{sys}}{\gamma_M} = 20,5 \text{ N/mm}^2$

Varutegur $\frac{\sigma_{m,d}}{f_{m,d}} = 0,23$ ehk 23 %

Nihkekandevõime kontroll

Maksimaalne arvutuslik nihkejõud talas $V_d = \frac{p_{jd} * l_{sille}}{2} = 9,8 \text{ kN}$

Ristlõike efektiivlaius $b_{ef} = b * k_{cr} = 93,8 \text{ mm}$

Arvutuslik nihkepinge talas $\tau_{v,d} = \frac{1,5 * V_{E,d}}{b_{ef} * h} = 0,4 \text{ N/mm}^2$

Arvutuslik nihkekandevõime $f_{v,d} = \frac{k_{mod} * f_{v,k} * k_{sys}}{\gamma_M} = 2,46 \text{ N/mm}^2$

Varutegur $\tau_{v,d}/f_{v,d} = 0,16$ ehk 16 %

Läbipainded

Hetkeline olukord

Ristlõike inertsimoment $I_y = \frac{b_w h^3}{12} = 7467 * 10^{-8} \text{ m}^4$

Paindemoment alalisest koormusest $M_{y,g,k} = \frac{g_k * s * l_{ef}^2}{8} = 5,3 \text{ kNm}$

Paindemoment muutuvast koormusest $M_{y,g,k} = \frac{q_k * s * l_{ef}^2}{8} = 7,5 \text{ kNm}$

Hetkeline läbipaine alalisest koormusest $w_{inst,G} = \frac{5}{384} g_k * s * \frac{l_{ef}^4}{E_{mean} * I_y} + \frac{M_{y,g,k}}{G_{mean} b_w h} = 3,0 \text{ mm}$

Hetkeline läbipaine muutuvast koormusest $w_{inst,Q} = \frac{5}{384} q_k * s * \frac{l_{ef}^4}{E_{mean} * I_y} + \frac{M_{y,q,k}}{G_{mean} b_w h} = 4,2 \text{ mm}$

Hetkeline läbipaine $W_{inst} = W_{inst,G} + W_{inst,Q} = 7,2 \text{ mm}$

Lubatud hetkeline läbipaine $W_{inst,al} = l_{ef}/400 = 17,5 \text{ mm}$

Varutegur $W_{inst} / W_{inst,al} = 0,41 \text{ ehk } 41\%$

Lõplik läbipaine

Roome ja niiskuse koosmõjust tekkinud deformatsioone ajas arvestav tegur, Tabel 3.2 (A1) $k_{def} = 0,6$

Muutuva koormuse tõenäolise väärtuse kombinatsioonitegur $\psi_2 = 0,3$

Lõplik läbipaine alalisest koormusest $W_{fin,G} = W_{inst,g} (1 + k_{def}) = 4,8 \text{ mm}$

Lõplik läbipaine muutuvast koormusest $W_{fin,Q} = W_{inst,q} (1 + \psi_2 * k_{def}) = 4,9 \text{ mm}$

Lõplik netoläbipaine $W_{net,fin} = W_{fin,G} + W_{fin,Q} = 9,7 \text{ mm}$

Lubatud lõplik netoläbipaine $W_{net,fin,al} = l_{ef}/300 = 23,3 \text{ mm}$

Varutegur $W_{net,fin} / W_{net,fin,al} = 0,42 \text{ ehk } 42\%$

Vibratsioon

Plaadi elastsusmooduli keskvaartus $E_{m,mean} = 4930 \text{ N/mm}^2$

Plaadi kõrgus $h_{plaat} = 22 \text{ mm}$

Plaadi laius $b_{plaat} = s = 600 \text{ mm}$

Plaadi samm $s_{plaat} = s = 600 \text{ mm}$

Põranda silde l_{sille} suunas vastav paindejäikus laiusühiku kohta

$$(EI)_l = \frac{E_{mean} * b_w * h^3}{12 * s} + \frac{E_{m,mean} * b_{plaat} * h_{plaat}^3}{12 * s_{plaat}} \\ = 1568,4 * 10^4 \text{ Nm} \left(\frac{\text{kg} * \text{m}}{\text{s}^2} * \text{m} \right)$$

Põranda omakaalust ja pikaajalisest kasus-koormusest ($\Psi_2 * q_k$) leitud mass pindala ühiku kohta

$$m = \frac{g_k + \Psi_2 q_k}{9,8 \text{ N/kg}} = 207 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

Ühes suunas kandvate põrandakonstruktsioonide põhisagedus

$$f_1 = \frac{\pi}{2l_{sille}^2} \sqrt{\frac{(EI)_l}{m}} = \frac{0,5\pi}{(6,95 \text{ m})^2} \sqrt{\frac{1568 * 10^4 * \text{m}^4}{207 \text{ s}^2}} \\ \approx 9 \text{ Hz}$$

Tingimus on rahuldatud

$$f_1 \leq 9 \text{ Hz}$$

Põranda laiuse b suunas vastav paindejäikus pikkusühiku kohta

$$(EI)_b = \frac{E_{m,mean} * b_{plaat} * h_{plaat}^3}{12 * s_{plaat}} = 4,4 \text{ kNm}$$

Abitegur

$$k_\delta = \sqrt[4]{\frac{(EI)_b}{(EI)_l}} = 0,13$$

Koondatud koormuse 1 kN poolt põhjustatud suurim põrandakonstruktsiooni läbipaine

$$\delta = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{F * l_{sille}^2}{42 * k_{\delta} * (EI)_l} \\ \frac{F * l_{sille}^3}{48s(EI)_l} \end{array} \right. = 0,57 \text{ mm}$$

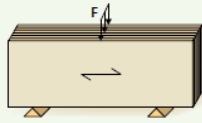
Lubatud suurim põrandakonstruktsiooni läbipaine 1 kN koondatud koormuse poolt

$$\delta_{adm} = 0,5 \text{ mm}$$

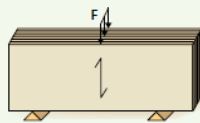
Varutegur

$$\frac{\delta}{\delta_{adm}} = 1,14 \text{ ehk } 114\%$$

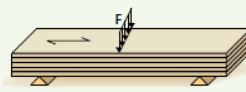
Bending strength f_m and elastic modulus E



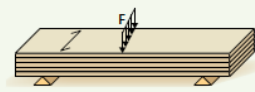
A $f_{m,0,edge}$ and $E_{0,edge}$
Edge-wise, parallel to grain*



B $f_{m,90,edge}$ and $E_{90,edge}$
Edge-wise, perp. to grain**

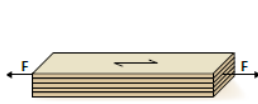


C $f_{m,0,flat}$ and $E_{0,flat}$
Flat-wise, parallel to grain*

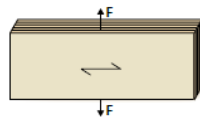


D $f_{m,90,flat}$ and $E_{90,flat}$
Flat-wise, perp. to grain**

Tensile strength f_t

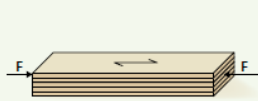


E $f_{t,0}$ parallel to grain*

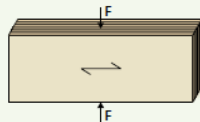


F $f_{t,90,edge}$
Edge-wise, perp. to grain**

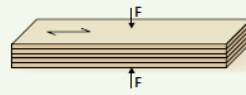
Compressive strength f_c



G $f_{c,0}$ parallel to grain*

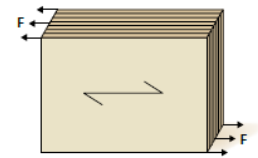


H $f_{c,90,edge}$
Edge-wise, perp. to grain**

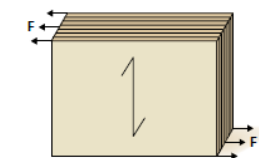


I $f_{c,90,flat}$
Flat-wise, parallel to grain**

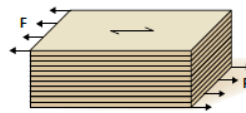
Shear strength f_v and modulus G



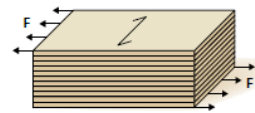
J $f_{v,0,edge}$ and $G_{0,edge}$
Edge-wise, parallel to grain*



K $f_{v,90,edge}$
Edge-wise, perp. to grain**



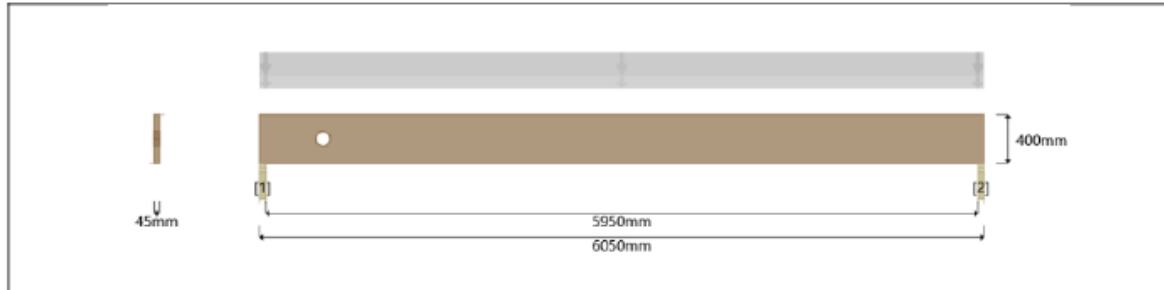
L $f_{v,0,flat}$ and $G_{0,flat}$
Flat-wise, parallel to grain*



M $f_{v,90,flat}$ and $G_{90,flat}$
Flat-wise, perp. to grain**

Lisa 4 Programmi STEICOxpress väljavõtte LVL-R45 tala järgi

Level/Label	Level 1 - LVL-R_45x400_6m_s400,a120	Design code	DIN EN 1995-1-1:2010-12+A1+A2	
Project	Project	Certificate	EN 14374	
Address				
Customer				
Designer				



Hanger(s) [left]	Member	Design result	Hanger(s) [right]
	45x400mm STEICOLVL R @ 400mm spacing	Design passed	

Loading (general) 1.00kN/m² Dead Load, 2.00kN/m² Floor Imposed Load, 1.00kN Concentrated Load
 Decking 22mm - OSB3 - Nailed
 Ceiling 12.5mm - Ceiling (GYPSUM BOARD)

General						Service Class : 1
	Max. / Control	Max.	Control	Ratio/DOL	Location	Load case
Wnet,fin	32.28%	6.42mm	19.89mm	L/930	3025mm	Gk+Qk SLS-Wn,f ALL
Winst	47.32%	7.06mm	14.92mm	L/845	3025mm	Gk+Qk SLS-Winst ALL
Wfin	47.56%	9.46mm	19.89mm	L/631	3025mm	Gk+Qk SLS-Wd2 ALL
[M] Moment	24.34%	8.33kN-m	34.23kN-m	Medium Term	3025mm	Gk+Qk ULS- ALL
[V] Shear	13.61%	5.09kN	37.37kN	Medium Term	50mm	Gk+Qk ULS- ALL
[R] Bearing (1)	25.81%	5.66kN	21.93kN	Medium Term	0mm	Gk+Qk ULS- ALL
[R] Bearing (2)	25.81%	5.66kN	21.93kN	Medium Term	6050mm	Gk+Qk ULS- ALL
f1	70.66%	11.3Hz	8Hz		1mm	
U1kN	39.94%	0.46mm	1.16mm		3025mm	
v	28.2%	0.01	0.02		1mm	
[M] Conc.	15.27%	5.23kN-m	34.23kN-m	Medium Term	3025mm	Gk+Qk ULS-Qconc ConcM
[V] Conc.	9.08%	3.39kN	37.37kN	Medium Term	50mm	Gk+Qk ULS-Qconc ConcV
[R] Conc.	16.1%	3.53kN	21.93kN	Medium Term	0mm	Gk+Qk ULS-Qconc ConcR
Hole 1	28.04%	846.73	3020.18	Medium Term	590mm	Gk+Qk ULS- ALL

All load cases by code have been verified. Only decisive load cases are displayed.

Reactions											
Bearings #	Width [mm]	Max. factored reactions [kN] DOL		Support reactions (transferred) (kN)					Details		
				Dead Perm.	Floor Medium	Snow	Wind	WindUp	WS SB	Reinf. Blocking	
1	50	+	5.66	Medium	1.50	2.42				No	
	-	0.00		No						No	
2	50	+	5.66	Medium	1.50	2.42				No	
	-	0.00		No						No	

WS=Web stiffener - SB=Squash block

Loads											
#	Type	Location	Dead	Floor	Snow	Wind	WindUp	Trib.width	Appl.	Dir. (Wind)	
1	Level loads [kN/m ²]	From 0mm to 6050mm	1.00	2.00				400mm NC	T		
2	Member wei [kN/m]	From 0mm to 6050mm	0.10					0mm NC	T		

Verified under a concentrated load of 1.00kN

NC=Not continuous (x1.00)/C=Continuous span (x1.25) - H=Horizontal length/P=Pitched length - T=Top/B=Bottom/L=Left/R=Right/C=Centre - V=Vertical/N=Normal to the roof plane

This component analysis is based on the loads, geometry and other conditions as entered by the user and listed in this report. The user is responsible to ensure the accuracy of the input and the applicability to the actual conditions of the structure for which this component is intended. This analysis is valid only for the product(s) listed.

Holes									
#	Type	Location	Width	Height	Vertical offset	Reinf.	[V] Shear	[M] Moment	[Ft90] Tension perp.
1	Round	530mm	120mm	120mm	0mm	No	4.78kN	2.76kN-m	851.04N/mm ²

Member properties	
Material	LVL
Grade/Type	45x400mm STEICOLVL R
Certificate/Nom	EN 14374

Stiffness properties			
	Value	Unit	Kdef
Flexural Rigidity	3339.4e9	N-mm ²	0.6
Shear Rigidity	10800000.00	N	0.6


Deflection limits			
	Wnet,fin	Winst	Wfin
Ratio	L/300	L/400	L/300
Max.			

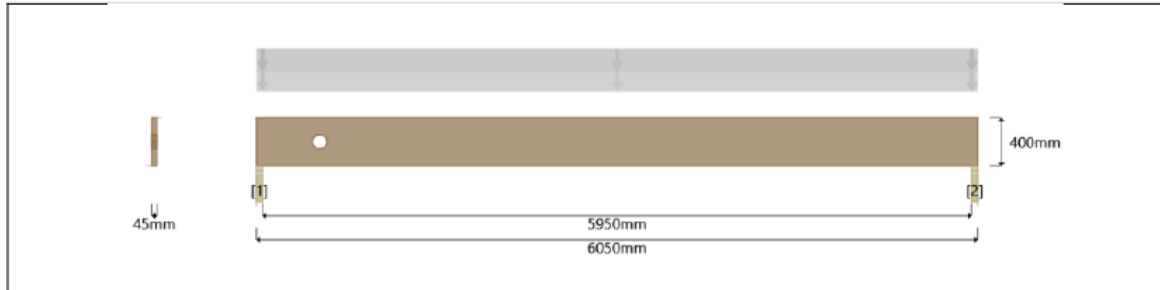
Member properties									
		Value	γ_M	Ksys	Perm.	Long	Kmod	Short	Instant.
Moment	M(+)	50.57kN-m	1.3	1.1	0.6	0.7	0.8	0.9	1.1
Moment Up	M(-)	50.57kN-m	1.3	1.1	0.6	0.7	0.8	0.9	1.1
Shear	V	55.20kN	1.3	1.1	0.6	0.7	0.8	0.9	1.1
Bearing @ 1	R(1)	27.00kN	1.3	1.1	0.6	0.7	0.8	0.9	1.1
Bearing @ 2	R(2)	27.00kN	1.3	1.1	0.6	0.7	0.8	0.9	1.1

Notes
<ul style="list-style-type: none"> All Dimensions, Supports and Holes are measured or numbered from the left end. Design spans are based on 1/2 minimum bearing length. Values for each span are: 5968mm All Support Reactions are indicated unfactored, unless stated otherwise. Indicated support reactions are based on maximum value. Top edge is considered continuously braced (decking/sheathing), no further bracing required. No negative [M]oment present, no further bracing along the bottom edge required Design Bearing Resistances have been calculated with Kc90 = 1.00, and multiplied by 1.20 in service class 1.

This component analysis is based on the loads, geometry and other conditions as entered by the user and listed in this report. The user is responsible to ensure the accuracy of the input and the applicability to the actual conditions of the structure for which this component is intended. This analysis is valid only for the product(s) listed.

L 4.1 Programmi STEICOexpress vibratsioon LVL-R45 tala järgi

Level/Label	VIBRATSIOON - LVL- R_45x400_6m_s400,a120	Design code	DIN EN 1995-1-1:2010-12+A1+A2	
Project	Project	Certificate	EN 14374	
Address				
Customer				
Designer				



Hanger(s) [left]	Member	Design result	Hanger(s) [right]
	45x400mm STEICOLVL R @ 400mm spacing	Design passed	

Loading (general) 1.60kN/m² Dead Load, 2.00kN/m² Floor Imposed Load, 1.00kN Concentrated Load
 Decking 22mm - OSB3 - Nailed
 Ceiling 12.5mm - Ceiling (GYPSUM BOARD)

General						Service Class : 1	
	Max. / Control	Max.	Control	Ratio/DOL	Location	Load case	
Wnet,fin	42.79%	8.51mm	19.89mm	L/701	3025mm	Gk+Qk SLS-Wn,f ALL	
Winst	56.03%	8.36mm	14.92mm	L/714	3025mm	Gk+Qk SLS-Winst ALL	
Wfin	58.07%	11.55mm	19.89mm	L/517	3025mm	Gk+Qk SLS-Wd2 ALL	
[M] Moment	28.55%	9.77kN-m	34.23kN-m	Medium Term	3025mm	Gk+Qk ULS- ALL	
[V] Shear	16.19%	6.05kN	37.37kN	Medium Term	50mm	Gk+Qk ULS- ALL	
[R] Bearing (1)	30.28%	6.64kN	21.93kN	Medium Term	0mm	Gk+Qk ULS- ALL	
[R] Bearing (2)	30.28%	6.64kN	21.93kN	Medium Term	6050mm	Gk+Qk ULS- ALL	
f1	86.04%	9.3Hz	8Hz		1mm		

L 4.2 Programmi STEICOexpress kontrollarvutus LVL-R45 järgi

Üldandmed

Tala üldpikkus	$L = 6050 \text{ mm}$
Toe pikkus	$l_{sup} = 50 \text{ mm}$
Tala efektiivpikkus	$l_{ef} = 6000 \text{ mm}$
Tala silde pikkus	$l_{sille} = 5950 \text{ mm}$
Tala laius	$b = 45 \text{ mm}$
Tala kõrgus	$h = 400 \text{ mm}$
Talade samm	$s = 400 \text{ mm}$

Materjali omadused

Keskmine tihedus	$\rho_{LVL} = 550 \text{ kg/m}^3$
Normatiivne paindetugevus	$f_{m,k} = 44 \text{ N/mm}^2$
Normatiivne nihketugevus	$f_{v,k} = 4,6 \text{ N/mm}^2$
Normatiivne survetugevus	$f_{c,90,k} = 7,5 \text{ N/mm}^2$
Normatiivne tõmbetugevus ristikiudu	$f_{t,90,k} = 0,9 \text{ N/mm}^2$
Elastsusmooduli 5-protsentiili väärtus	$E_{mean} = 14000 \text{ N/mm}^2$
Nihkemooduli keskväärtus	$G_{mean} = 600 \text{ N/mm}^2$

Osavarutegurid

Alalisel koormusel	$\gamma_G = 1,2$
Kasuskoormusel	$\gamma_Q = 1,5$
Materjali omaduste osavarutegur (liimpuit)	$\gamma_M = 1,2$
Modifikatsioonitegur	$k_{mod} = 0,8$
Roome ja niiskuse koosmõjust tekkinud deformatsioone ajas arvestav tegur Tabel 3.2 (A1)	$k_{def} = 0,6$
Koormuse konfiguratsiooni arvestav tegur, kasutusklass 1	$k_{c,90} = 1,2$

Koormused

Tala omakaal	$g_{LVL} = \frac{b * h * \rho_{LVL}}{s} = 243 \text{ N/m}^2$
Põranda omakaal	$q_k = 1,0 \text{ kN/m}^2 + g_{k,GL28} = 1243 \text{ N/m}^2$
Kasuskoormus (klass A)	$q_k = 2,0 \text{ kN/m}^2$
Arvutuslik joonkoormus	$p_{jd} = s(\gamma_G g_k + \gamma_Q q_k) = 1797 \text{ N/m}$

Paindekandevõime kontroll

Arvutuslik paindemoment tala keskel	$M_{d,max} = \frac{p_{jd} * l_{ef}^2}{8} = 8,1 \text{ kNm}$
-------------------------------------	---

Ristlõike vastupanumoment	$W_y = \frac{bh^2}{6} = 1200 \text{ cm}^3$
Paindepinge tala keskel	$\sigma_{m,d} = \frac{M_{d,max}}{W_y} = 6,7 \text{ N/mm}^2$
Ristlõike kõrguse tegur paindel	$k_h = \min \left\{ \frac{1,1}{\left(\frac{300 \text{ mm}}{h}\right)^{0,15}} \right\} = 0,958$
Süsteemi tugevustegur	$k_{sys} = 1,1$
Paindekandevõime	$f_{m,d} = \frac{k_{mod} * f_{m,k} * k_h * k_{sys}}{\gamma_M} = 30,9 \text{ N/mm}^2$
Varutegur	$\sigma_{m,d}/f_{m,d} = 0,22 \text{ ehk } 22\%$
Toe muljumine	
Efektiivne toe kontaktpind ristikiudu survele	$A_{ef} = b (l_{sup} + 30 \text{ mm}) = 3600 \text{ mm}^2$
Maksimaalne arvutuslik nihkejõud talas	$V_d = \frac{p_{jd} * l_{ef}}{2} = 5,4 \text{ kN}$
Arvutuslik ristikiudu survepinge	$\sigma_{c,90,d} = V_d / A_{ef} = 1,5 \text{ N/mm}^2$
Toe arvutuslik kandevõime	$f_{c,90,d} = \frac{k_{mod} * f_{c,90,k} * k_{sys} * k_{c,90}}{\gamma_M} = 6,6 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$
Varutegur	$\sigma_{c,90,d}/f_{c,90,d} = 0,23 \text{ ehk } 23\%$
Nihkekandevõime kontroll	
Arvutuslik nihkepinge talas	$\tau_{v,d} = \frac{1,5 * V_d}{bh} = 0,45 \text{ N/mm}^2$
Arvutuslik nihkekandevõime	$f_{v,d} = \frac{k_{mod} * f_{v,0,k} * k_{sys}}{\gamma_{M,v}} = 3,4 \text{ N/mm}^2$
Varutegur	$\tau_{v,d}/f_{v,d} = 0,13 \text{ ehk } 13\%$
Läbipainded	
Hetkeline olukord	
Ristlõike inertsimoment	$I_y = \frac{bh^3}{12} = 24000 \text{ cm}^4$
Paindemoment alalisest koormusest	$M_{y,g,k} = \frac{g_k * s * l_{ef}^2}{8} = 2,2 \text{ kNm}$
Paindemoment muutuvast koormusest	$M_{y,g,k} = \frac{q_k * s * l_{ef}^2}{8} = 3,6 \text{ kNm}$
Hetkeline läbipaine alalisest koormusest	$w_{inst,G} = \frac{5}{384} g_k * s \frac{l_{ef}^4}{E_{mean} * I_y} + \frac{M_{y,g,k}}{G_{mean} b_w h}$ $= 2,7 \text{ mm}$
Hetkeline läbipaine muutuvast koormusest	$w_{inst,Q} = \frac{5}{384} q_k * s \frac{l_{ef}^4}{E_{mean} * I_y} + \frac{M_{y,q,k}}{G_{mean} b_w h}$ $= 4,4 \text{ mm}$
Hetkeline läbipaine	$w_{inst} = w_{inst,G} + w_{inst,Q} = 7,1 \text{ mm}$
Lubatud hetkeline läbipaine	$w_{inst,al} = l_{ef}/400 = 15 \text{ mm}$
Varutegur	$w_{inst} / w_{inst,al} = 0,47 \text{ ehk } 47\%$

Lõplik läbipaine

Roome ja niiskuse koosmõjust tekkinud deformatsioonide ajas arvestav tegur, Tabel 3,2 (A1)

$$k_{def} = 0,6$$

Muutuva koormuse tõenäolise väärtuse kombinatsioonitegur

$$\psi_2 = 0,3$$

Lõplik läbipaine alalisest koormusest

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

Lõplik läbipaine muutuvast koormusest

$$w_{fin,Q} = w_{inst,q} (1+\psi_2*k_{def}) = 5,2 \text{ mm}$$

Lõplik netoläbipaine

$$w_{net,fin} = w_{fin,G} + w_{fin,Q} = 9,5 \text{ mm}$$

Lubatud lõplik netoläbipaine

$$w_{net,fin,al} = l_{ef}/300 = 20 \text{ mm}$$

Varutegur

$$w_{net,fin} / w_{net,fin,al} = 0,48 \text{ ehk } 48\%$$

Vibratsioon

Põranda silde l_{sille} suunas vastav paindejäikus laiusühiku kohta

$$(EI)_l = \frac{E_{mean} * I_y}{s} = 8400 \text{ kN*m}$$

Põranda omakaalust ja pikaajalisest kasus-koormusest (Ψ_2*q_k) leitud mass pindala ühiku kohta

$$m = \frac{g_k + \Psi_2 q_k}{9,8 \text{ N/kg}} = 185,4 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

Ühes suunas kandvate põranda-konstruktsioonide põhisagedus

$$f_1 = \frac{\pi}{l_{sille}^2} * \sqrt{\frac{(EI)_l}{m}} = 9,3 \text{ Hz}$$

Tingimus on rahuldatud

$$f_1 \geq 9 \text{ Hz}$$

Põranda laiuse b suunas vastav paindejäikus pikkusühiku kohta

$$(EI)_b = \frac{E_{m,mean} * b_{plaat} * h_{plaat}^3}{12 * s_{plaat}} = 4,4 \text{ kNm}$$

Abitegur

$$k_\delta = \sqrt[4]{\frac{(EI)_b}{(EI)_l}} = 0,15$$

Koondatud koormuse 1 kN poolt põhjustatud suurim põrandakonstruktsiooni läbipaine

$$\delta = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{F * l_{sille}^2}{42 * k_\delta * (EI)_l} \\ \frac{F * l_{sille}^3}{48s(EI)_l} \end{array} \right. = 0,68 \text{ mm}$$

Lubatud suurim

põrandakonstruktsiooni läbipaine 1 kN koondatud koormuse poolt

$$\delta_{adm} = 0,5 \text{ mm}$$

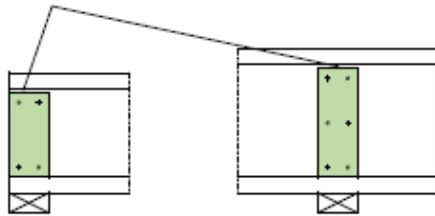
Varutegur

$$\delta / \delta_{adm} = 1,36 \text{ ehk } 136\%$$

Lisa 5 STEICO nõuded talade jäigastamiseks

G6 Web stiffener – end and intermediate bearing

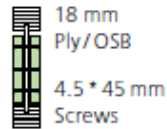
5 - 10 mm gap
Where load comes in from above the gap should be at the bottom.



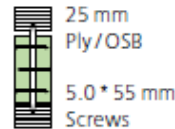
4 fixings
for joists < 300 mm
2 from each side

6 fixings
for joists > 300 mm
3 from each side

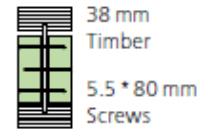
STEICOjoist SJ_L45



STEICOjoist SJ_L60



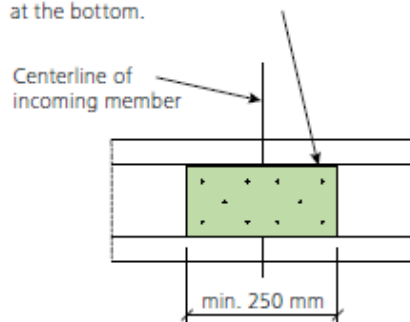
STEICOjoist SJ_L90



	Joist depth [mm]					
Web Stiffener	200	220	240	300	360	400
Height [mm]	115	135	155	215	275	315
Width [mm]	≥ 100					
No. of screws	4	4	4	4	6	6

G7 Backer blocks

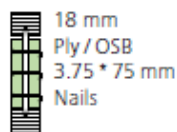
5-10 mm gap for face fix hangers
For top fix hangers the gap should be at the bottom.



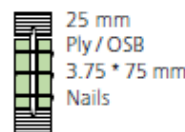
Centerline of incoming member

min. 250 mm

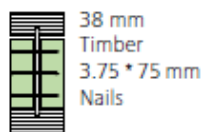
STEICOjoist SJ_L45



STEICOjoist SJ_L60



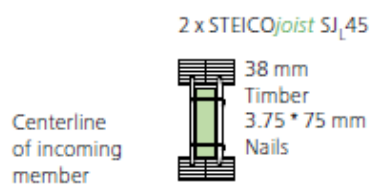
STEICOjoist SJ_L90



	Joist depth [mm]					
Backer Block	200	220	240	300	360	400
Height [mm]	115	135	155	215	275	315
Width [mm]	≥ 250					
No. of nails	10	10	10	10	10	10

All nails should be clenched where possible

G8 Filler blocks



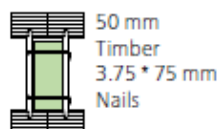
Centerline of incoming member

600 mm

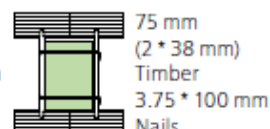
2 x STEICOjoist SJ_L45



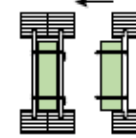
2 x STEICOjoist SJ_L60



2 x STEICOjoist SJ_L90



For 3 ply members the second filler block should be attached from the rear.

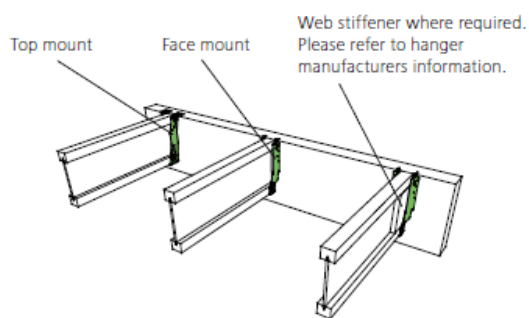


	Joist depth [mm]					
Filler Block	200	220	240	300	360	400
Height [mm]	115	135	155	215	275	315
Width [mm]	≥ 600					
No. of nails	12	12	12	12	12	12

All nails should be clenched where possible

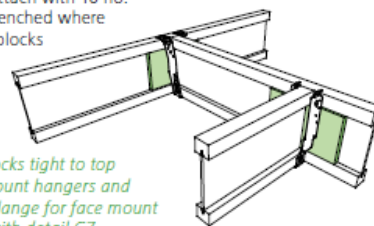
L 5.2 STEICO nõuded mitmekordsete talade ühendamiseks

G3 Different hanger applications



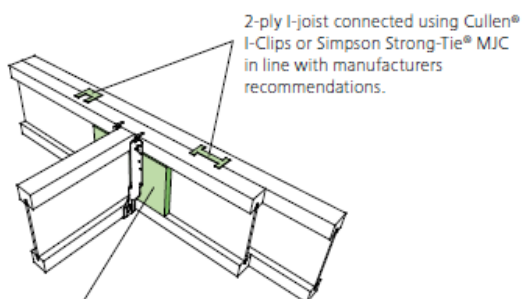
G4 STEICOjoist to STEICOjoist connection

Install backer blocks on both sides of STEICOjoist. Attach with 10 no. 3.75 * 75 nails, clenched where possible. Backer blocks to be a minimum of 250 mm wide.



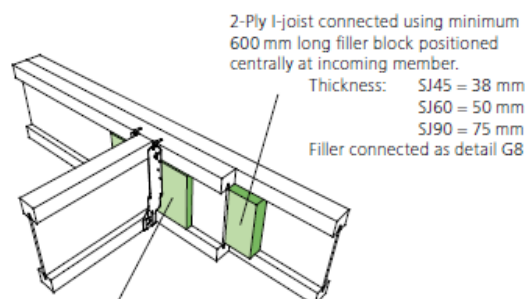
Install backer blocks tight to top flange for top mount hangers and tight to bottom flange for face mount hangers in line with detail G7. Backerless hangers are available. Please follow hanger manufacturers guidance for installation.

G5a 2-ply I-joist connection



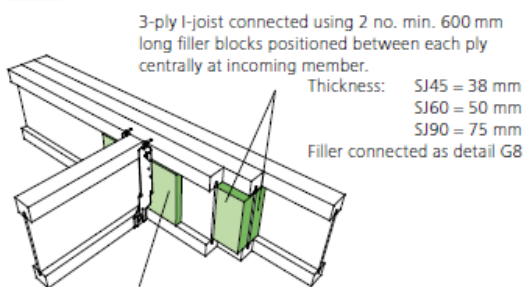
Backer blocks may be required. Backer blocks to be fitted as detail G4 and G7 or refer to hanger manufacturers details.

G5b 2-ply I-joist connection



Backer blocks may be required. Backer blocks to be fitted as detail G4 and G7 or refer to hanger manufacturers details.

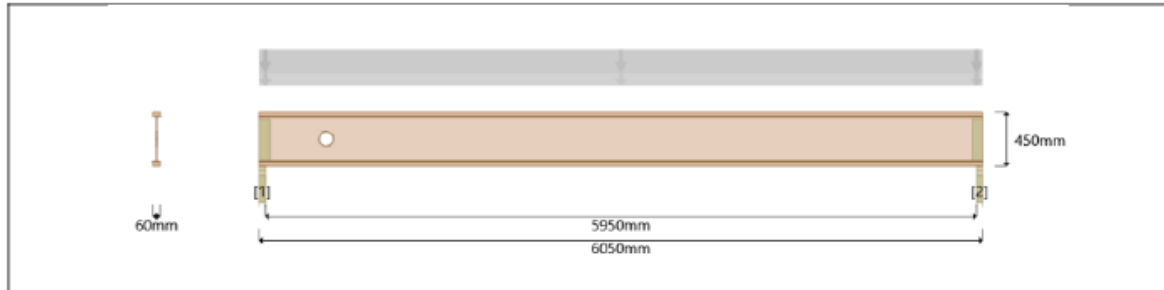
G5c 3-ply I-joist connection



Backer blocks may be required. Backer blocks to be fitted as detail G4 and G7 or refer to hanger manufacturers details.

Lisa 6 Programmi STEICOxpress väljavõte I-tala SJ_{LVL39,NFB60} järgi

Level/Label	6m - 3)SJ_60x450_6 m_s400, a120	Design code	DIN EN 1995-1-1:2010-12+A1+A2	
Project	Project	Certificate	ETA-08/0238	
Address				
Customer				
Designer				



Hanger(s) [left]	Member	Design result	Hanger(s) [right]
	SJ [LVL,HB] 60 - 450mm @ 400mm spacing	Design passed	

Loading (general) 1.00kN/m² Dead Load, 2.00kN/m² Floor Imposed Load, 1.00kN Concentrated Load
 Decking 22mm - OSB3 - Nailed
 Ceiling 12.5mm - Ceiling (GYPSUM BOARD)

General	Max. / Control	Max.	Control	Ratio/DOL	Location	Service Class : 1	Load case
Wnet,fin	38.09%	7.61mm	19.98mm	L/788	3025mm		Gk+Qk SLS-Wn,f ALL
Winst	51.57%	7.73mm	14.99mm	L/775	3025mm		Gk+Qk SLS-Winst ALL
Wfin	55.41%	11.07mm	19.98mm	L/542	3025mm		Gk+Qk SLS-Wd2 ALL
[M] Moment	45.39%	8.14kN-m	17.92kN-m	Medium Term	3025mm		Gk+Qk ULS- ALL
[V] Shear	47.38%	5.39kN	11.38kN	Medium Term	50mm		Gk+Qk ULS- ALL
[R] Bearing (1) WS	37.72%	5.48kN	14.53kN	Medium Term	0mm		Gk+Qk ULS- ALL
[R] Bearing (2) WS	37.72%	5.48kN	14.53kN	Medium Term	6050mm		Gk+Qk ULS- ALL
f1	71.13%	11.2Hz	8Hz		1mm		
U1kN	45.51%	0.52mm	1.15mm		3025mm		
v	30.3%	0.01	0.02		1mm		
[M] Conc.	27.86%	5.00kN-m	17.92kN-m	Medium Term	3025mm		Gk+Qk ULS-Qconc ConcM
[V] Conc.	29.12%	3.31kN	11.38kN	Medium Term	50mm		Gk+Qk ULS-Qconc ConcV
[R] Conc.	23.06%	3.35kN	14.53kN	Medium Term	0mm		Gk+Qk ULS-Qconc ConcR
Hole 1	51.93%	4.36kN	8.39kN	Medium Term	620mm		Gk+Qk ULS- ALL

All load cases by code have been verified. Only decisive load cases are displayed.

Reactions		Support reactions (transferred) (kN)				Details					
Bearings #	Width [mm]	Max. factored reactions		Dead Perm.	Floor Medium	Snow	Wind	WindUp	WS	Reinf. SB	Blocking
		[kN]	DOL								
1	50	+	5.48	Medium	1.37	2.42					
		-	0.00								
2	50	+	5.48	Medium	1.37	2.42					
		-	0.00								

WS=Web stiffener - SB=Squash block

Loads											
#	Type	Location	Dead	Floor	Snow	Wind	WindUp	Trib.width	Appl.	Dir. (Wind)	
1	Level loads [kN/m ²]	From 0mm to 6050mm	1.00	2.00				400mm	NC	T	
2	Member wei [kN/m]	From 0mm to 6050mm	0.05					0mm	NC	T	

Verified under a concentrated load of 1.00kN

NC=Not continuous (x1.00)/C=Continuous span (x1.25) - H=Horizontal length/P=Pitched length - T=Top/B=Bottom/L=Left/R=Right/C=Centre - V=Vertical/N=Normal to the roof plane

This component analysis is based on the loads, geometry and other conditions as entered by the user and listed in this report. The user is responsible to ensure the accuracy of the input and the applicability to the actual conditions of the structure for which this component is intended. This analysis is valid only for the product(s) listed.

Holes									
#	Type	Location	Width	Height	Vertical offset	Reinf.	[V] Shear	[M] Moment	[Ft90] Tension perp.
1	Round	560mm	120mm	120mm	0mm	No	4.57kN		

Member properties	
Material	Steico SJ [LVL,HB]
Grade/Type	SJ [LVL,HB] 60 - 450mm
Certificate/Nom	ETA-06/0238

Stiffness properties			
	Value	Unit	Kdef
Flexural Rigidity	3056.0e9	N-mm ²	0.6
Shear Rigidity	6700.00	N	2.25


Deflection limits			
	Wnet,fin	Winst	Wfin
Ratio	L/300	L/400	L/300
Max.			

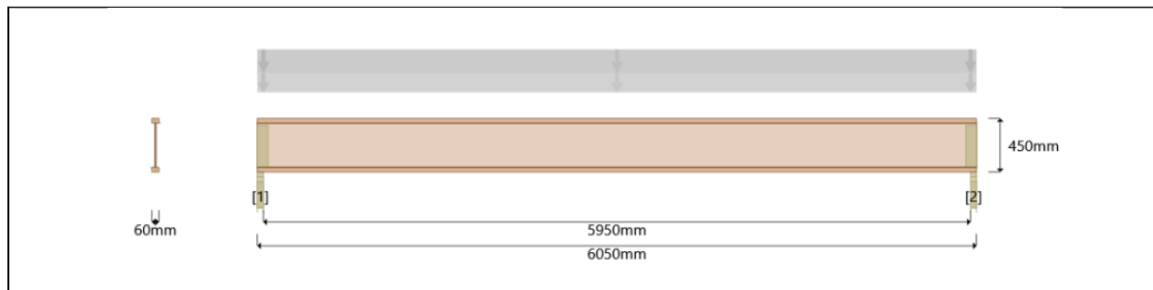
Member properties									
		Value	yM	Ksys	Perm.	Long	Kmod Medium	Short	Instant.
Moment	M(+)	26.48kN-m	1.3	1.1	0.6	0.7	0.8	0.9	1.1
Moment Up	M(-)	26.48kN-m	1.3	1.1	0.6	0.7	0.8	0.9	1.1
Shear	V	20.69kN	1.3	1.1	0.3	0.45	0.65	0.85	1.1
Bearing @ 1	R(1) WS	21.46kN	1.3	1.1	0.6	0.7	0.8	0.9	1.1
Bearing @ 2	R(2) WS	21.46kN	1.3	1.1	0.6	0.7	0.8	0.9	1.1

Notes
<ul style="list-style-type: none"> All Dimensions, Supports and Holes are measured or numbered from the left end. Design spans are based on 1/2 minimum bearing length. Values for each span are: 5994mm All Support Reactions are indicated unfactored, unless stated otherwise. Indicated support reactions are based on maximum value. Top edge is considered continuously braced (decking/sheathing), no further bracing required. No negative [M]oment present, no further bracing along the bottom edge required

This component analysis is based on the loads, geometry and other conditions as entered by the user and listed in this report. The user is responsible to ensure the accuracy of the input and the applicability to the actual conditions of the structure for which this component is intended. This analysis is valid only for the product(s) listed.

L 6.2 STEICOxpress väljavõte I-tala SJ_{LVL39,NFB60} järgi - vibratsioon

Level/Label	6m -VIBRATSIOON - 3) SJ_60x450_6m, s400-9,1 Hz	Design code	DIN EN 1995-1-1:2010-12+A1+A2	
Project	Project	Certificate	ETA-06/0238	
Address				
Customer				
Designer				



Hanger(s) [left]	Member	Design result	Hanger(s) [right]
	SJ [LVL,HB] 60 - 450mm @ 400mm spacing	Design passed	

Loading (general) 1.60kN/m² Dead Load, 2.00kN/m² Floor Imposed Load, 1.00kN Concentrated Load
 Decking 22mm - OSB3 - Nailed
 Ceiling 12.5mm - Ceiling (GYPSUM BOARD)

General						Service Class : 1
	Max. / Control	Max.	Control	Ratio/DOL	Location	Load case
Wnet,fin	51.3%	10.25mm	19.98mm	L/585	3025mm	Gk+Qk SLS-Wn,f ALL
Winst	61.51%	9.22mm	14.99mm	L/650	3025mm	Gk+Qk SLS-Winst ALL
Wfin	68.57%	13.7mm	19.98mm	L/438	3025mm	Gk+Qk SLS-Wd2 ALL
[M] Moment	53.51%	9.59kN·m	17.92kN·m	Medium Term	3025mm	Gk+Qk ULS- ALL
[V] Shear	55.83%	6.35kN	11.38kN	Medium Term	50mm	Gk+Qk ULS- ALL
[R] Bearing (1) WS	44.46%	6.46kN	14.53kN	Medium Term	0mm	Gk+Qk ULS- ALL
[R] Bearing (2) WS	44.46%	6.46kN	14.53kN	Medium Term	6050mm	Gk+Qk ULS- ALL
f1	87.98%	9.1Hz	8Hz		1mm	

L 6.3 Programmi STEICOexpress kontrollarvutus I-tala SJ_{LVL39,NFB60} järgi

Üldandmed

Tala üldpikkus	$L = 6050 \text{ mm}$
Toe pikkus	$l_{sup} = 50 \text{ mm}$
Minimaalne toe pikkus	$l_{min,sup} = 45 \text{ mm}$
Tala arvutus pikkus	$l_{ef} = l_{sille} + l_{min,sup} = 5995 \text{ mm}$
Tala silde pikkus	$l_{sille} = 5950 \text{ mm}$
Tala laius	$b = 450 \text{ mm}$
Tala kõrgus	$h = 450 \text{ mm}$
Tala vöö kõrgus	$h_f = 39 \text{ mm}$
Talade samm	$s = 400 \text{ mm}$

Materjali omadused

Tala jooksva meetri mass	$p_{SJ} = 5,4 \text{ kg/m}$
Normatiivne paindetugevus	$M_{R,k} = 26,48 \text{ kN}\cdot\text{m}$
Normatiivne nihketugevus	$V_{R,k} = 20,67 \text{ kN}$
Toe normkandevõime 50 mm pikkuse toepinna korral koos jäigastusega	$R_{c,k} = 21,46 \text{ kN}$
Tala paindejäikus	$EI_{joist} = 3056 \cdot 10^9 \text{ N}\cdot\text{mm}^2$
Tala nihkejäikus	$GA_{joist} = 6750 \text{ kN}$

Osavarutegurid

Alalisel koormusel	$\gamma_G = 1,2 \text{ STEICOexpressis } 1,35$
Kasuskoormusel	$\gamma_Q = 1,5$
Materjali omaduste osavarutegur nihke puhul	$\gamma_{M,v} = 1,3$
Materjali omaduste osavarutegur muudel juhtudel	$\gamma_M = 1,2 \text{ STEICOexpressis } 1,3$
Modifikatsioonitegur	$k_{mod} = 0,8$
Modifikatsioonitegur nihke puhul kasutusklass 1	$k_{mod,v} = 0,65$
Süsteemi tugevustegur	$k_{sys} = 1,1$

Koormused

Tala omakaal	$g_{k,SJ} = \frac{p_{SJ} * 9,81 \frac{\text{N}}{\text{kg}}}{s} = 132,4 \text{ N/m}^2$
Põranda omakaal	$q_k = 1,0 \text{ kN/m}^2 + g_{k,SJ} = 1132 \text{ N/m}^2$
Kasuskoormus (klass A)	$q_k = 2,0 \text{ kN/m}^2$

Arvutuslik joonkoormus

$$p_{jd} = s(\gamma_G g_k + \gamma_Q q_k) = 1744 \text{ N/m}$$

Paindekandevõime kontroll

Arvutuslik paindemoment tala keskel

$$M_{d,max} = \frac{p_{jd} * l_{ef}^2}{8} = 7,8 \text{ kNm}$$

Paindekandevõime

$$M_{R,d} = \frac{k_{mod} * M_{R,k} * k_{sys}}{\gamma_M} = 19,4 \text{ kNm}$$

Varutegur

$$\frac{M_{d,max}}{M_{R,d}} = 0,40 \text{ ehk } 40 \%$$

Nihkekandevõime kontroll

Arvutuslik nihkejõud

$$V_d = \frac{p_{jd} * l_{sille}}{2} = 5,2 \text{ kN}$$

Arvutuslik nihkekandevõime

$$V_{R,d} = \frac{k_{mod} * V_{R,k} * k_{sys}}{\gamma_{M,v}} = 11,4 \text{ kN}$$

Varutegur

$$V_d/V_{R,d} = 0,46 \text{ ehk } 46\%$$

Nihkekandevõime kontroll nõrgestatud ristlõikes

Ava diameeter

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

Ava lubatud min, asukoht tala otsast

$$x_{min} = \max(h; \text{vt Tabel 1.6}) = 450 \text{ mm}$$

Nihkejõud nõrgestatud lõike toepoolses servas

$$V_{E,d,hole} = \left| p_{jd} * \left(\frac{l_{sille}}{2} - x_{min} \right) \right| = 4,4 \text{ kN}$$

Nõrgestatud ristlõike vähendustegur

$$k_{hole} = \frac{h - h_f - 0,9 d}{h - h_f} = 0,74$$

Avaga tala vähendatud normatiivne nihkekandevõime

$$V_{R,k,hole} = V_{R,k} * k_{hole} = 15,3 \text{ kN}$$

Avaga tala vähendatud arvutuslik nihkekandevõime

$$V_{R,d,hole} = \frac{V_{R,k,hole} * k_{mod,v} * k_{sys}}{\gamma_{M,v}} = 8,4 \text{ kN}$$

Varutegur

$$V_{E,d,hole}/V_{R,d,hole} = 0,52 \text{ ehk } 52\%$$

Toe muljumine

Maksimaalne arvutuslik nihkejõud talas

$$V_d = \frac{p_{jd} * L}{2} = 5,3 \text{ kN}$$

Toe arvutuslik kandevõime

$$R_{c,d} = \frac{k_{mod} * R_{c,k} * k_{sys}}{\gamma_M} = 15,7 \text{ kN}$$

Varutegur

$$V_d/R_{c,d} = 0,34 \text{ ehk } 34\%$$

Läbipainded

Hetkeline olukord

Paindemoment alalisest koormusest

$$M_{y,g,k} = \frac{g_k * s * l_{ef}^2}{8} = 2,0 \text{ kNm}$$

Paindemoment muutuvast koormusest

$$M_{y,q,k} = \frac{q_k * s * l_{ef}^2}{8} = 3,6 \text{ kNm}$$

hetkeline läbipaine alalisest koormusest

$$w_{inst,g} = \frac{5}{384} g_k * s \frac{l_{ef}^4}{E_{mean} * I_y} + \frac{M_{y,g,k}}{G_{mean} b_w h} = 2,8 \text{ mm}$$

hetkeline läbipaine muutuvast koormusest

$$w_{inst,q} = \frac{5}{384} q_k * s \frac{l_{ef}^4}{E_{mean} * I_y} + \frac{M_{y,q,k}}{G_{mean} b_w h} = 4,9 \text{ mm}$$

Hetkeline läbipaine

$$w_{inst} = w_{inst,g} + w_{inst,q} = 7,7 \text{ mm}$$

Lubatud hetkeline läbipaine

$$w_{inst,al} = l_{ef} / 400 = 15,0 \text{ mm}$$

Varutegur

$$w_{inst} / w_{inst,al} = 0,52 \text{ ehk } 52\%$$

Lõplik läbipaine

Roome ja niiskuse koosmõjust tekkinud deformatsioone ajas arvestav tegur

$$k_{def} = 0,6$$

Roome ja niiskuse koosmõjust tekkinud deformatsioone ajas arvestav tegur nihke korral

$$k_{def,v} = 2,25$$

Muutuva koormuse tõenäolise väärtuse kombinatsioonitegur

$$\psi_2 = 0,3$$

Lõplik läbipaine alalisest koormusest

$$w_{fin,g} = \frac{5}{384} g_k * s \frac{l_{ef}^4}{EI_{joist}} (1 + k_{def}) + \frac{M_{y,g,k}}{GA_{joist}} (1 + k_{def,v}) = 5,0 \text{ mm}$$

Lõplik läbipaine muutuvast koormusest

$$w_{fin,q} = \frac{5}{384} q_k * s \frac{l_{ef}^4}{EI_{joist}} (1 + \Psi_{2,1} * k_{def}) + \frac{M_{y,q,k}}{GA_{joist}} (1 + \Psi_{2,1} * k_{def,v}) = 6,1 \text{ mm}$$

Lõplik netoläbipaine

$$w_{net,fin} = w_{fin,g} + w_{fin,q} = 11,1 \text{ mm}$$

Lubatud lõplik netoläbipaine

$$w_{net,fin,al} = l_{ef} / 300 = 20,0 \text{ mm}$$

Varutegur

$$w_{net,fin} / w_{net,fin,al} = 0,56 \text{ ehk } 56\%$$

Vibratsioon

Põranda silde l_{sille} suunas vastav paindejäikus laiusühiku kohta

$$(EI)_l = \frac{EI_{joist}}{s} = 7640 \text{ kN*m}$$

Põranda omakaalust ja pikaajalisest kasukoormusest ($\Psi_2 * q_k$) leitud mass pindala ühiku kohta

$$m = \frac{g_k + \Psi_2 q_k}{9,8 \text{ N/kg}} = 176,7 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

Ühes suunas kandvate põrandakonstruktsioonide põhisagedus

$$f_1 = \frac{\pi}{l_{sille}^2} * \sqrt{\frac{(EI)_l}{m}} = 9,1 \text{ Hz}$$

Tingimus on rahuldatud

$$f_1 \geq 9 \text{ Hz}$$

Põranda laiuse b suunas vastav paindejäikus pikkusühiku kohta

$$(EI)_b = \frac{E_{m,mean} * b_{plaat} * h_{plaat}^3}{12 * S_{plaat}} = 4,4 \text{ kNm}$$

Abitegur

$$k_\delta = \sqrt[4]{\frac{(EI)_b}{(EI)_l}} = 0,15$$

Koondatud koormuse 1 kN poolt põhjustatud suurim põrandakonstruktsiooni läbipaine

$$\delta = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{F * l_{sille}^2}{42 * k_\delta * (EI)_l} \\ \frac{F * l_{sille}^3}{48s(EI)_l} \end{array} \right. = 0,71 \text{ mm}$$

Lubatud suurim põrandakonstruktsiooni läbipaine 1 kN koondatud koormuse poolt

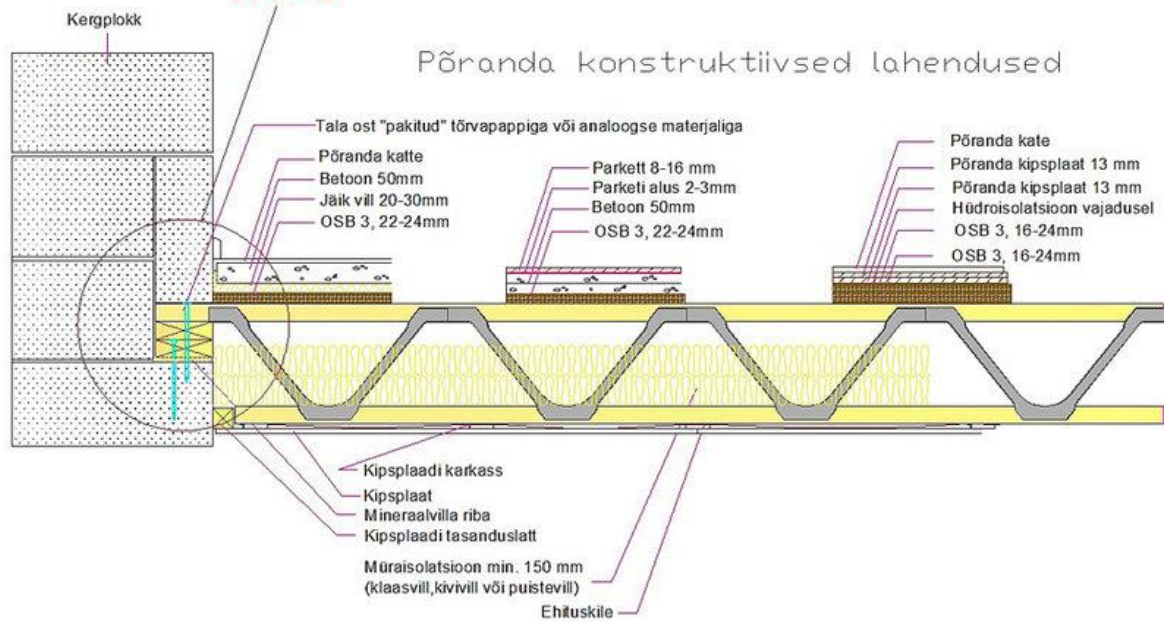
$$\delta_{adm} = 0,5 \text{ mm}$$

Varutegur

$$\delta/\delta_{adm} = 1,42 \text{ ehk } 142\%$$

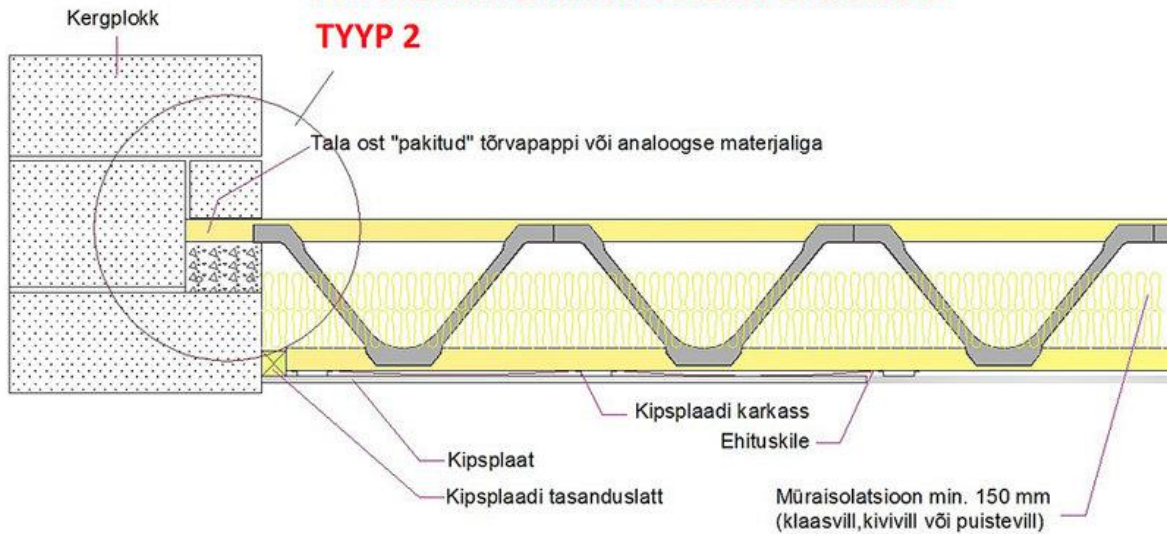
PUIT-METALLTALA KINNITUS KERGPLOKI SEINAS

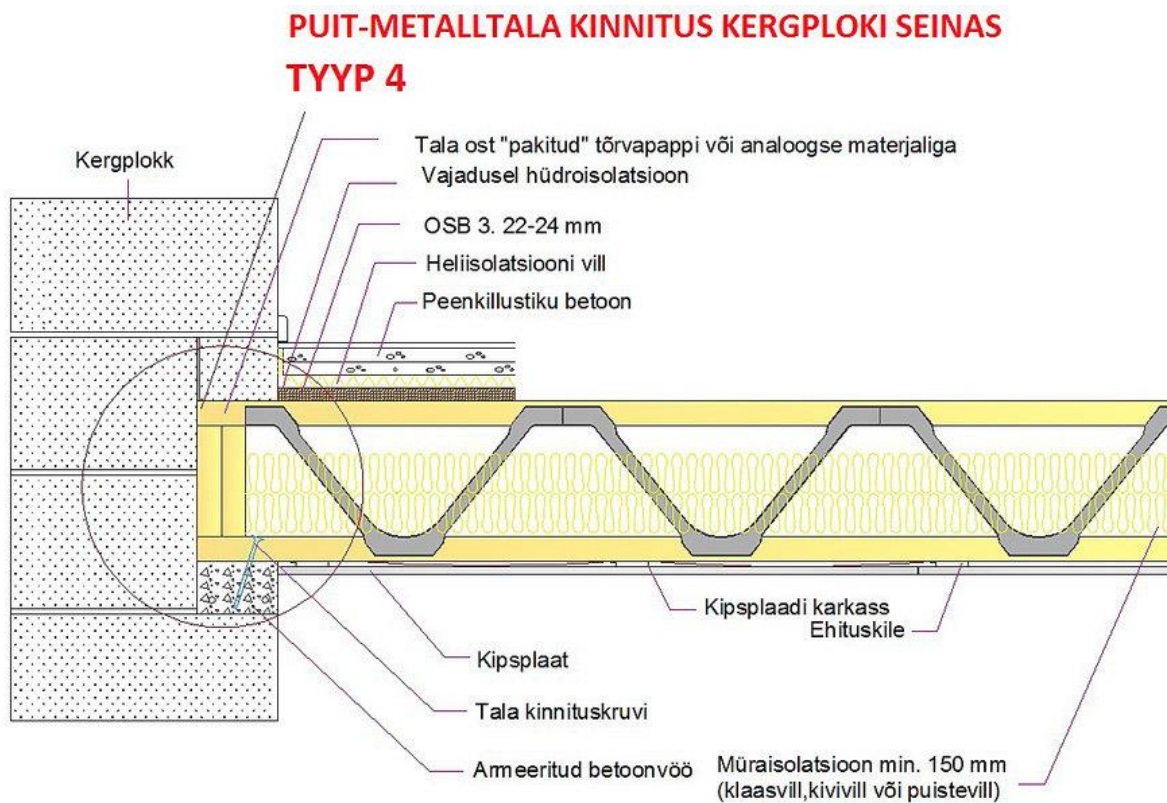
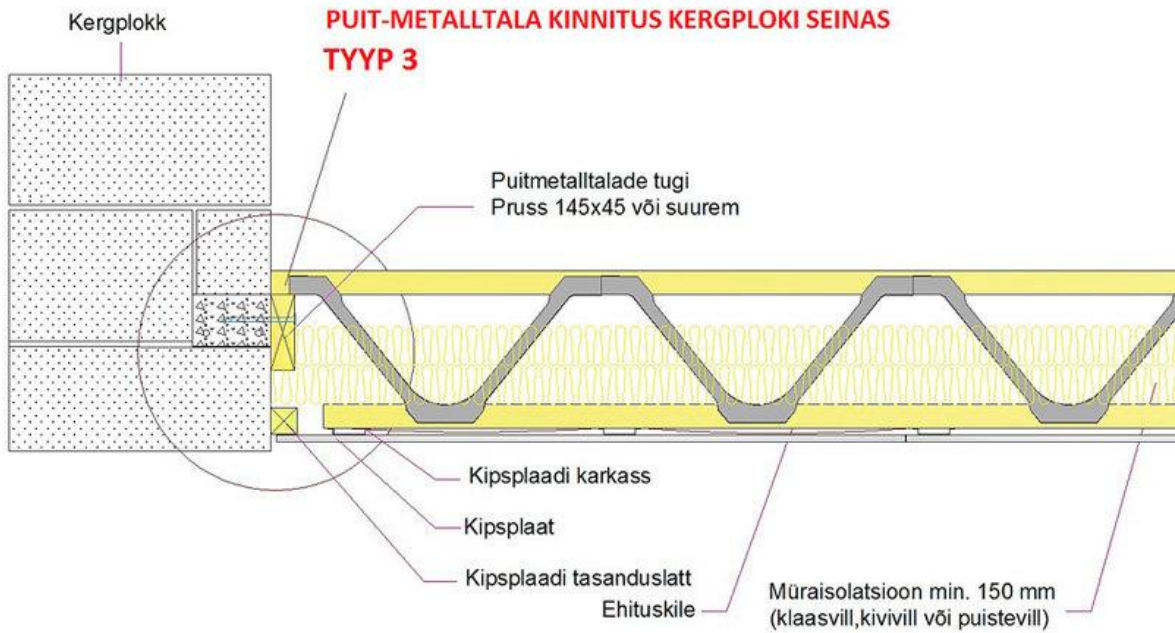
TYYP 1



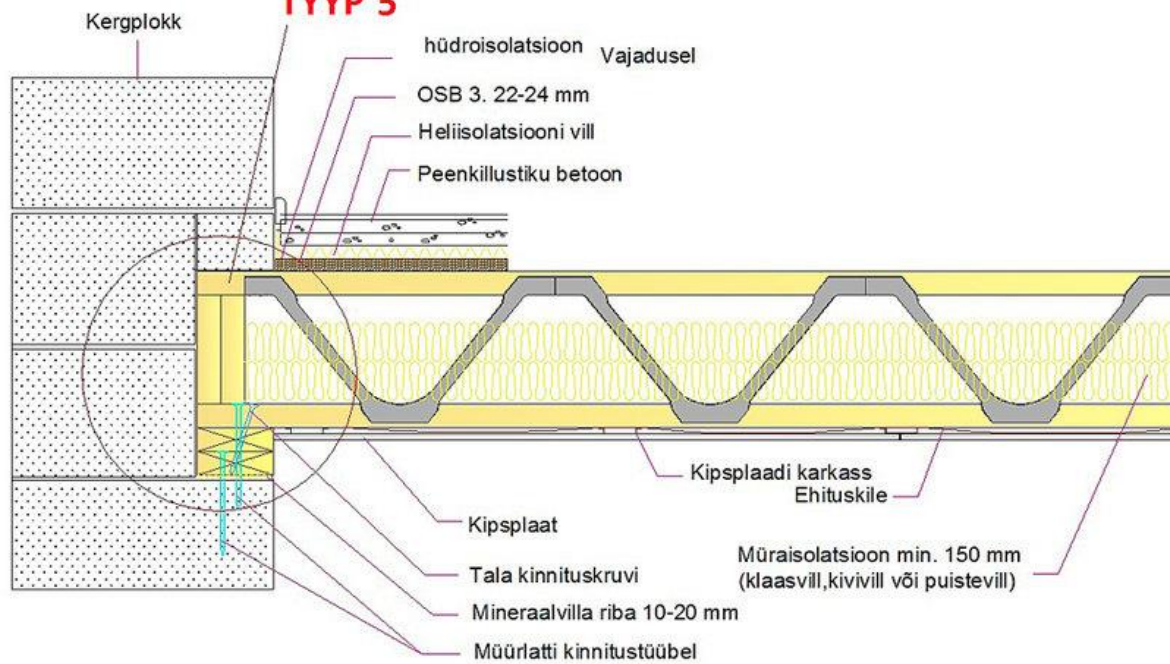
PUIT-METALLTALA KINNITUS KERGPLOKI SEINAS

TYYP 2

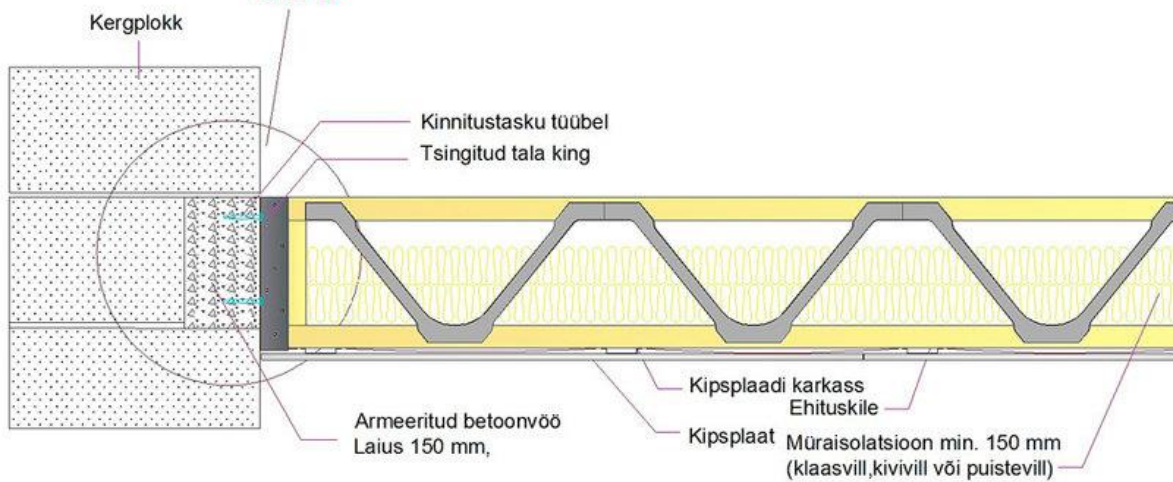




PUIT-METALLTALA KINNITUS KERGPLOKI SEINAS TYYP 5



PUIT-METALLTALA KINNITUS KERGPLOKI SEINAS TYYP 6



Sõlmede joonised on võetud Vesmont Majakeskus OÜ koduleheküljelt [17]

Lisa 8 Talade dimensioneerimistulemuste tabelid

Talad sildega 4 m ja koormustega $g_k=1 \text{ kN/m}^2$, $q_k=2 \text{ kN/m}^2$										
	Tala tüüp	Laius b , mm	Kõrgus h , mm	Samm s , mm	Tala kaal, kg	w/ w_{al} , %	Ava tsentri kaugus tala otsast, mm	Nihkejõu % nõrgestatud lõikes / PJ varraste koormatus %	$f_1 \geq 9$ Hz	$\delta / 0,75$ mm, %
1	SJ	60	220	400	21	86	1180	49	9,5	147
2	PJ	95	221	400	22	85	-	69	10,5	121
3	SJ	90	240	600	21	73	670	83	10,5	126
4	PJ	120	249	600	28	85	-	89	11,2	111
5	SJ	45	300	600	15	81	410	78	9,5	141
6	PJ	95	300	600	23	81	-	85	12,4	95
7	LVL-R	39	300	600	23	56	-	-	10,8	116
8	GL28h	60	320	600	45	34	-	-	14,0	76

Talad sildega 6 m ja koormustega $g_k=1 \text{ kN/m}^2$, $q_k=2 \text{ kN/m}^2$										
	Tala tüüp	Laius b , mm	Kõrgus h , mm	Samm s , mm	Tala kaal, kg	w/ w_{al} , %	Ava tsentri kaugus tala otsast, mm	Nihkejõu % nõrgestatud lõikes / PJ varraste koormatus %	$f_1 \geq 9$ Hz	$\delta / 0,5$ mm, %
1	PJ	145	300	300	49	73	-	77	9,2	140
2	LVL-R	45	300	150	39	49	-	-	9,1	124
3	SJ	90	300	200	38	50	410	40	9,9	127
4	LVL-R	75	300	250	65	44	-	-	9,3	105
5	GL28h	100	320	300	89	37	-	-	10,3	106
6	SJ	90	360	300	38	49	470	48	9,7	126
7	LVL-R	45	360	300	47	49	-	-	9,1	138
8	GL28h	120	360	600	120	41	-	-	9,9	118
9	PJ	95	369	300	35	75	-	76	9,6	134
10	PJ	120	369	400	44	82	-	84	9,4	140
11	SJ	90	400	400	39	52	510	57	9,6	130
12	LVL-R	45	400	400	52	48	-	-	9,3	136
13	LVL-R	75	400	600	87	43	-	-	9,7	124
14	GL28h	80	400	600	89	44	-	-	9,7	126
15	PJ	95	417	400	40	79	-	89	9,7	136
16	PJ	70	417	300	32	89	-	66	9,6	138
17	SJ	60	450	400	33	56	560	58	9,1	143
18	SJ	90	450	600	40	61	560	76	9,1	145

Talad sildega 7 m ja koormustega $g_k=1 \text{ kN/m}^2$, $q_k=2 \text{ kN/m}^2$										
	Tala tüüp	Laius b , mm	Kõrgus h , mm	Samm s , mm	Tala kaal, kg	w/ w _{al} , %	Ava tsentri kaugus tala otsast, mm	Nihkejõu % nõrgestatud lõikes / PJ varraste koormatus %	$f_1 \geq 9$ Hz	$\delta/0,5$ mm, %
1	SJ	90	360	150	44	40	470	30	9,3	102
2	LVL-R	75	360	200	91	37	-	-	9,5	94
3	GL28h	220	360	600	257	39	-	-	9,2	102
4	PJ	120	369	300	49	78	-	81	9,3	154
5	LVL-R	75	400	300	102	37	-	-	9,5	102
6	SJ	90	400	200	45	50	510	39	9,3	106
7	GL28h	140	400	600	182	42	-	-	9,0	114
8	PJ	120	417	400	55	77	-	94	9,4	156

Talad sildega 4 m ja koormustega $g_k=3 \text{ kN/m}^2$, $q_k=2 \text{ kN/m}^2$										
	Tala tüüp	Laius b , mm	Kõrgus h , mm	Samm s , mm	Tala kaal, kg	w/ w_{al} , %	Ava tsentri kaugus tala otsast, mm	Nihkejõu % nõrgestatud löikes / PJ varraste koormatus %	$f_1 \geq 9$ Hz	$\delta/0,5$ mm, %
1	PJ	120	249	300	27	74	-	86	10,5	65
2	SJ	90	240	300	21	72	670	89	9,4	75
3	PJ	70	300	300	18	81	-	67	10,1	71
4	SJ	60	300	300	17	61	410	78	10,1	68
5	LVL-R	39	300	300	23	51	-	-	10,2	92
6	PJ	120	300	400	28	78	-	90	11,4	59
7	SJ	90	300	400	23	61	500	91	10,7	63
8	LVL-R	45	300	400	26	58	-	-	9,6	76
9	LVL-R	75	300	600	44	53	-	-	10,1	95
10	GL28h	60	320	600	45	60	-	-	9,6	76
11	SJ	60	360	400	21	55	470	83	10,8	61
12	SJ	90	360	600	26	64	830	90	10,8	62
13	LVL-R	39	360	600	27	61	-	-	9,6	77
14	PJ	70	369	300	19	71	-	74	12,8	49
15	PJ	95	369	400	26	93	-	80	12,9	49

Talad sildega 6 m ja koormustega $g_k=3 \text{ kN/m}^2$, $q_k=2 \text{ kN/m}^2$										
	Tala tüüp	Laius b , mm	Kõrgus h , mm	Samm s , mm	Tala kaal, kg	w/ w_{al} , %	Ava tsentri kaugus tala otsast, mm	Nihkejõu % nõrgestatud löikes / PJ varraste koormatus %	$f_1 \geq 9$ Hz	$\delta/0,5$ mm, %
1	SJ	90	360	150	38	46	470	51	9,2	75
2	LVL-R	75	360	200	78	37	-	-	9,5	69
3	GL28h	120	360	300	120	38	-	-	9,4	70
4	PJ	95	369	150	35	79	-	60	9,1	80
5	LVL-R	75	400	300	87	40	-	-	9,3	74
6	SJ	90	400	200	39	48	510	61	9,1	77
7	GL28h	80	400	300	89	41	-	-	9,2	76
8	PJ	145	417	300	57	65	-	86	9,2	80

Lisa 9 Talade maksumuste tabelid

Tala sildega 4 m ja koormustega $g_k=1 \text{ kN/m}^2$, $q_k=2 \text{ kN/m}^2$								
	Tala tüüp	Tala laius b , mm	Tala kõrgus h , mm	Samm s , mm	Tala hind, €/tk	Avaga tala hind, €/tk	€/m ² hind	€/m ² hind avaga
1	SJ	60	220	400	37	42	24,4	27,7
2	PJ	95	221	400	49	49	32,5	32,5
3	SJ	90	240	600	52	57	23,7	26,0
4	PJ	120	249	600	60	60	27,4	27,4
5	SJ	45	300	600	34	39	15,6	17,9
6	PJ	95	300	600	50	50	22,9	22,9
7	LVL-R	39	300	600	55	63	25,1	28,8
8	GL28h	60	320	600	46	56	21,2	25,8

Tala sildega 6 m ja koormustega $g_k=1 \text{ kN/m}^2$, $q_k=2 \text{ kN/m}^2$								
	Tala tüüp	Tala laius b , mm	Tala kõrgus h , mm	Samm s , mm	Tala hind, €/tk	Avaga tala hind, €/tk	€/m ² hind	€/m ² hind avaga
1	PJ	145	300	300	101	201	59	59
2	LVL-R	45	300	150	96	414	109	118
3	SJ	90	300	200	81	259	70	74
4	LVL-R	75	300	250	159	401	111	116
5	GL28h	100	320	300	115	250	67	73
6	SJ	90	360	300	89	188	52	55
7	LVL-R	45	360	300	127	271	74	79
8	GL28h	120	360	600	155	165	47	51
9	PJ	95	369	300	73	145	42	42
100	PJ	120	369	400	88	131	39	39
11	SJ	90	400	400	96	152	43	45
12	LVL-R	45	400	400	159	251	71	74
13	LVL-R	75	400	600	212	220	65	67
14	GL28h	80	400	600	115	125	35	38
15	PJ	95	417	400	73	110	33	33
16	PJ	70	417	300	63	126	37	37
17	SJ	60	450	400	77	121	34	37
18	SJ	90	450	600	82	87	25	27

Tala sildega 7 m ja koormustega $g_k=1 \text{ kN/m}^2$, $q_k=2 \text{ kN/m}^2$								
	Tala tüüp	Tala laius b , mm	Tala kõrgus h , mm	Samm s , mm	Tala hind, €/tk	Avaga tala hind, €/tk	€/m ² hind	€/m ² hind avaga
1	SJ	90	360	150	98	103	95	100
2	LVL-R	75	360	200	221	229	163	167
3	GL28h	220	360	600	332	342	87	89
4	PJ	120	369	300	93	93	47	47
5	LVL-R	75	400	300	247	255	124	128
6	SJ	90	400	200	103	108	76	80
7	GL28h	140	400	600	235	245	61	64
8	PJ	120	417	400	99	99	38	38

Tala sildega 4 m ja koormustega $g_k=3 \text{ kN/m}^2$, $q_k=2 \text{ kN/m}^2$								
	Tala tüüp	Tala laius b , mm	Tala kõrgus h , mm	Samm s , mm	Tala hind, €/tk	Avaga tala hind, €/tk	€/m ² hind	€/m ² hind avaga
1	PJ	120	249	300	55	55	48,4	48,4
2	SJ	90	240	300	52	57	45,3	49,7
3	PJ	70	300	300	44	44	38,1	38,1
4	SJ	60	300	300	41	46	35,9	40,3
5	LVL-R	39	300	300	55	63	48,0	55,0
6	PJ	120	300	400	56	56	37,6	37,6
7	SJ	90	300	400	54	59	36,3	39,6
8	LVL-R	45	300	400	64	72	42,6	48,0
9	LVL-R	75	300	600	107	115	48,9	52,5
10	GL28h	60	320	600	46	56	21,2	25,8
11	SJ	60	360	400	43	48	28,5	31,8
12	SJ	90	360	600	56	61	25,7	28,0
13	LVL-R	39	360	600	66	74	30,2	33,9
14	PJ	70	369	300	40	40	34,9	34,9

Tala sildega 6 m ja koormustega $g_k=3 \text{ kN/m}^2$, $q_k=2 \text{ kN/m}^2$								
	Tala tüüp	Tala laius b , mm	Tala kõrgus h , mm	Samm s , mm	Tala hind, €/tk	Avaga tala hind, €/tk	€/m ² hind	€/m ² hind avaga
1	SJ	90	360	150	84	89	95	101
2	LVL-R	75	360	200	189	197	163	170
3	GL28h	120	360	300	155	165	91	96
4	PJ	95	369	150	73	73	83	83
5	LVL-R	75	400	300	212	220	124	129
6	SJ	90	400	200	89	94	76	81
7	GL28h	80	400	300	115	125	67	73
8	PJ	145	417	300	103	103	60	60

Lisa 10 Steico I-tala ETA tiitelleht


British Board of Agrément
Bucknalls Lane
Watford
Herts WD25 9BA
Tel: +44 (0) 1923 665300
e-mail: clientservices@bbacerts.co.uk
website: www.bbacerts.co.uk



European Technical Assessment

ETA-06/0238 of
28/10/2019

General Part

Technical Assessment Body issuing the European Technical Assessment:

British Board of Agrément

Trade name of the construction product:

STEICOjoist and STEICOWall

Product family to which the construction product belongs:

Product Area 13
Structural timber products/elements and ancillaries

Manufacturer:

STEICO SE
Otto-Lilienthal-Ring 30
85622 Feldkirchen
Germany
Tel: + 49 (0)89 99 1551-0
Fax: + 49 (0)89 99 1551-700
e-mail: info@steico.com
website: www.steico.com

Manufacturing plant(s):

STEICO Sp. z o.o.
ul. Przemysłowa 2
64-700 Czarnków
Poland

This European Technical Assessment contains:

59 pages, including 4 Annexes which form an integral part of the document

This European Technical Assessment is issued in accordance with Regulation (EU) No. 305/2011 on the basis of:

European Technical Approval Guideline (ETAG) No. 11
Light Composite Wood-based Beams and Columns,
edition January 2002, used as European Assessment Document (EAD)

This ETA replaces:

ETA 06/0238, version 6, issued on 31/08/2017

Table C10 Values of k_{def} to be used with Eurocode 5 when designing STEICO I-joist products

Duration of load	Bending and axial deformation		Shear deformation			
	Service Class 1	Service Class 2	Service Class 1		Service Class 2	
			NFB	OSB	NFB	OSB
Permanent	0.60	0.80	2.25	1.50	3.00	2.25

Table C11 Recommended values of γ_M to be used with Eurocode 5 when designing STEICO I-joist products in absence of nationally determined parameters

Combination	Bending and axial resistance	Shear resistance	Bearing resistance
Fundamental	1.2	1.3	1.2
Accidental	1.0	1.0	1.0

Design recommendations for holes cut in web

The characteristic shear capacity for STEICO I-joist products with holes in the web can be calculated as follows:

$$V_{hole,k} = V_k \cdot k_{hole}$$

where:

V_k characteristic shear capacity for STEICO I-joist products without holes in the web

k_{hole} hole strength reduction factor.

Round holes reduction factor:

$$k_{hole} = \frac{H_{Beam} - h_f - 0.9 \cdot D}{H - h_f}$$

where:

H_{Beam} depth of the beam

h_f depth of the flange

D diameter of the hole $D \leq H - 2.1 \cdot h_f \leq 200$ mm.

This reduction in shear must not be considered for round holes with diameter ≤ 38 mm.

Rectangular holes reduction factor:

$$k_{hole} = \min \left\{ 0.30 \cdot \left(\frac{H_{Beam}}{h_{hole}} \right)^{0.1} \cdot \left(\frac{H_{Beam}}{l_{hole}} \right)^{0.18} \cdot \left(\frac{h_{hole}}{l_{hole}} \right)^{0.2} \cdot k_{depth}; 0.9 \right\}$$

where:

H_{Beam} depth of the beam

h_{hole} height of the hole $h_{hole} \leq H - 2.1 \cdot h_f \leq 200$ mm

l_{hole} length of the hole $l_{hole} \leq 300$ mm.

k_{depth} depth factor