

Tilaelementtien yhdistetty nosto- ja jäykistysosa

Antti Matikainen

Degree Thesis

Thesis for a Master of Engineering (UAS) - degree

Degree Programme in Structural Engineering

Raseborg 2024

OPINNÄYTETYÖ

Tekijä: Antti Matikainen

Koulutus ja paikkakunta: Structural Engineering, Raasepori

Suuntautumisvaihtoehto:

Ohjaaja: Towe Andersson, Novia

Nimike: Tilaelementtien yhdistetty nosto- ja jäykistysosa

Päivämäärä 31.3.2024

Sivumäärä: 64+6

Liitteet: 1

Tiivistelmä

Tilaelementtirakentaminen on lisääntynyt yhtenä puurakentamisen ratkaisuna. Puukerrostalojen jäykistämiseen käytetään erillisiä jäykistysosia, joiden suunnittelu on pääosin projektikohtaista. Tämä aiheuttaa työmaille haasteita, koska jäykistysosien detajiiikka vaihtuu lähes joka kohteessa. Tilaelementtien nostoissa käytetään myös erilaisia ratkaisuja. Osa nostetaan projektiin suunnitelluilla teräsosilla, osa nostoliinoilla.

Tutkimuksen tavoitteena on luonnostella liitososa, jolla voidaan ratkaista sekä rakennuksen kokonaisjäykistys että tilaelementtien nostaminen. Kirjallisuuskatsauksen pohjalta luodaan määritykset, jonka puitteissa nosto-jäykistysosan yhdistävä suunnittelu toteutetaan. Tutkimuksessa etsitään nosto-osiin vaikuttavat asetukset ja suunnitteluohjeet. Varsinkin nosto-osien merkintöjen kannalta nykyiset menetelmät ovat varsin puutteellisia.

Tutkimuksen pohjalta voidaan todeta, että ratkaisujen yhdistäminen on teknisesti mahdollista. Jatkotutkimuksia tarvitaan aiheesta niin optimoinnin, äänitekniikan kuin asennustekniikan osalta.

Kieli: suomi

Avainsanat: tilaelementti, elementtinnosto, jäykistys, puurakentaminen, nosto-osa

MASTER'S THESIS

Author: Antti Matikainen

Degree Programme and place of study: Structural Engineering, Raseborg

Specialisation:

Supervisor: Towe Andersson

Title: Multifunctional Lifting System for Block Element

Date: 31.3.2024

Number of pages: 64+6

Appendices: 1

Abstract

Block element construction has increased as one of the wood construction solutions. Separate bracing parts are used to stiffening wooden apartment buildings. The design of this parts is mainly project specific. This causes challenges for construction sites, because the details of the bracing parts change in almost every project. Various solutions are also used for the lifting of block elements. Some are lifted with steel parts designed for the project, some with lifting ropes.

The goal of the research was to sketch a connection part that can be used to solve both the overall stiffening of the building and the lifting of block elements. Based on the literature review, specifications are created, within the framework of which the design combining the lifting and bracing part is implemented. The research is looking for regulations and design instructions that affect lifting the parts. Especially in terms of marking the lifting parts, the current methods are quite incomplete.

Based on the research, it was concluded that combining solutions is technically possible. Further studies are needed on the subject, both in terms of optimization, sound technology and installation technology.

Language: Finnish

Key Words: block element, element lifting, bracing, wood construction, lifting part

Sisällysluettelo

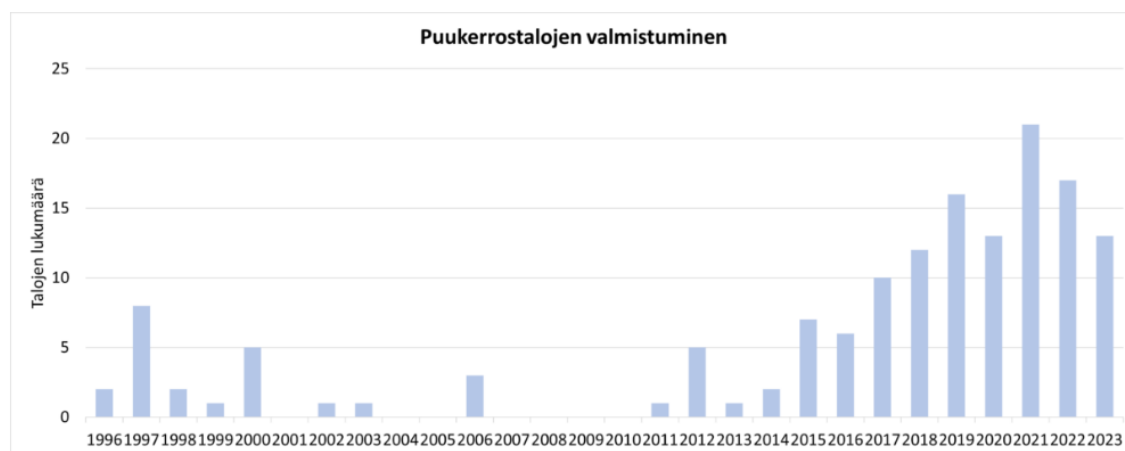
1	Johdanto	1
1.1	Käsitteet ja termit	2
2	Tutkimustarpeen kuvaus	5
3	Tutkimuksen tarkoitus, tavoite ja tutkimuskysymykset	6
3.1	Tutkimuksen tarkoitus ja tavoite	6
3.2	Tutkimuskysymykset	6
4	Tutkimusmenetelmän kuvaus.....	9
5	Kirjallisuuskatsauksen kuvaus.....	11
5.1	Kuvaileva kirjallisuuskatsaus.....	11
5.2	Aineiston haku.....	12
5.3	Hakutulokset ja analyysituloksista	14
6	Mallikohteen esittely	18
6.1	Suunnitteluperusteet	19
6.2	Mallikohteen suunnitteluperusteet.....	20
6.3	Rakenteet.....	21
7	Käytössä olevat nostojärjestelmät.....	25
7.1	Nostot työmaalla	25
7.2	Liinanostot.....	27
7.3	Kierretangot.....	28
7.4	Ruuvattavat nosto-osat	29
7.5	Muut nosto-osat	29
8	Käytössä olevat jäykistysjärjestelmät	32
8.1	Tilaelementtirakentamisen yleisperiaatteet	33
8.2	Rakennuksen jäykistämisen yleisperiaatteet ja vaatimukset	33
8.3	Levyjäykistyksen liitokset	36
9	Yhdistetty nosto- ja jäykistysjärjestelmä	38
9.1	Nosto-osan vaatimukset.....	38
9.2	Jäykistysosan vaatimukset.....	42
9.3	Yhdistetty nosto- ja jäykistysosa	45
10	Johtopäätökset ja kehitystarpeet	55
10.1	Asennus	55
10.2	Mitoitustaulukko eri kokoisille elementeille	55
10.3	Tärinäeristeen ongelmat.....	56
10.4	HVS asennusvälin ahtaus	57
11	Pohdinta	58
12	Viittaukset	61

1 Johdanto

Rakentamisen tehostumisen ja laadunvarmistuksen saadessa yhä enemmän huomiota siirtyy itse rakentaminen työmaalta tehtaisiin. Se on myös puurakentamisen selkeä kilpailuetu verrattuna betonirakenteisiin. Puurakenteisia moduuleita on helpompi kasata valmiiksi tehdasolosuhteissa ja nostaa työmaalla paikalleen lähinnä keveytensä ansiosta. Laadukkaan ja tehokkaan lopputuloksen aikaan saamiseksi myös ketjun tehtaalta työmaalle pitää olla toimiva ja tehokas.

Tilaelementtirakentamisen edut ovat nopea ja kosteusteknisesti luotettava rakennusprosessi tehtaalla. Tehdasolosuhteissa myös resurssien hukan minimointi on huomattavasti helpompaa kuin erillisillä työmailla. Tilaelementtirakentamisen haasteina ovat elementtien kuljetus ja asennus työmaalla. Painavat tilaelementit (12-18t) muodostavat aina haasteen työmaalle.

Puurakentamisen kehitys on tapahtunut viime vuosina lähinnä julkisissa koulu- ja päiväkotihankkeissa. Asuntorakentamisessa läpimurto odottaa vielä tuotteiden kehittymistä. Tilaelementtiratkaisut ovat tehokkain puurakentamisen muoto perusasuntorakentamiseen. Tämän vuoksi jokaista ketjun osaa toiminnassa olisi arvioitava ja kehitettävä kriittisesti.



Kuva 1. Valmistuneet puukerrostalot vuosina 1997-2023 (Puuinfo A, 2023)

Työssä on tarkoitus selkeyttää tilaelementtirakentamiseen liittyviä haasteita. Työn tilaajana toimii allekirjoittaneen oma yritys Timber Bros Oy. Osa työstä on asiakkaalle myytävää selvitystä.

1.1 Käsitteet ja termit

Puukerrostalo

Puukerrostaloksi sanotaan kerrostaloa, jonka kantavat runkorakenteet ovat pääosin puuta. Julkisivut voivat olla puulla tai muilla julkisivumateriaaleilla verhottuja. Tietyin edellytyksin puuta voidaan käyttää sisätilojen pintamateriaalina.

Puukerrostalojen yleisimpiä rakentamistapoja ovat:

- rankarakenteiset tasoelementit
- rankarakenteiset tilaelementit
- massiivipuulevyrakenteiset tasoelementit
- massiivipuurakenteiset tilaelementit.

(Puuinfo B, 2020)

Nostoapuväline

”Nostoapuvälineellä tarkoitetaan komponenttia tai laitetta, jota ei ole kiinnitetty nostolaitteeseen ja jonka avulla kuormaan voidaan tarttua ja joka on sijoitettu koneen ja kuorman väliin tai kiinnitetty itse kuormaan tai joka on tarkoitettu kuorman kiinteäksi osaksi ja joka on saatettu markkinoille erillisesti; raksien ja niiden komponenttien katsotaan myös olevan nostoapuvälineitä”

(Asetus koneiden turvallisuudesta 400/2008, 2008)

Tilaelementti

CLT-tilaelementit ovat esivalmistettuja tilakomponentteja, jotka sisältävät kokonaisen asuntolohkon tai huoneiston. Tilaelementit muodostuvat tehdasolosuhteissa rakennetusta lattiasta, seinistä ja katosta. Elementit ovat siis nimensä mukaisesti niiden rajaavien pintojen muodostama tila. Elementit ovat itsessään jäykkiä rakennusosia, joiden tulee kestää kuljetuksen ja elementtien noston aiheuttamat rasitukset.

(Puuinfo C, 2020)

Rakennuksen kokonaisjäykistys

Rakennuksen kokonaisjäykistyksellä tarkoitetaan niitä toimenpiteitä, joilla varmistetaan rakennuksen stabiiliuden säilyminen ja ulkoisten vaakakuormien siirtyminen perustuksien kautta maaperään. Tavoitteena on siis estää liian suurien siirtymien syntyminen tekemällä rakennuksesta riittävän jäykkä. Kokonaisjäykistyksestä on huolehdittava niin rakennustyön aikana kuin valmiissa rakennuksessa. Tavallisia jäykistyskuormia ovat nurjahdus- ja kiepahdustuennasta aiheutuvat tuentavoimat, tuuli, rakenteiden vinous ja pystykuormien epäkeskisyys.

(RIL, 2013)

CLT-levy

Cross Laminated Timber (CLT) koostuu nimensä mukaisesti ristiinliimatuista lautakerroksista. Kerroksia on useita, tavallisimmin kolme tai viisi, mutta niitä voi olla enemmänkin. Näin muodostuu hyvin paloa kestävä, erittäin luja ja jäykkä sekä ominaisuuksiinsa nähden kevyt rakennuslevy.

(Puuinfo D, 2020)

$F_{v,k}$	kokonaistuulikuorma
c_f	rakenteen voimakerroin
$q_p(h)$	rakennuksen korkeuden mukainen nopeuspaine
A_{ref}	rakenteen tuultavastainen projektipinta-ala
R_{vk}	liittimen ominaisleikkauksen kapasiteetti
R_{vd}	liittimen laskentaleikkauksen kapasiteetti
$N_{u,Rd}$	poikkileikkauksen laskentavetolujuus
F_u	teräsosan murtolujuus
F_y	teräsosan myötölujuus
γ_{m2}	materiaalin osavarmuuskerroin
$f_{v,wd}$	hitsin leikkaukslujuuden mitoitusarvo (N/mm)
B_w	hitsin lujuuskerroin teräsluokan mukaisesti
a	pienahitsin a-mitta
$F_{w,Rd}$	hitsin kestävyden mitoitusarvo pituusyksikköä kohti
k_{mod}	muunnoskerroin, jolla otetaan huomioon kuorman keston ja kosteuden vaikutus
γ_m	materiaaliominaisuuden osavarmuusluku

2 Tutkimustarpeen kuvaus

Tilaelementtirakentamisen haasteena on aina ollut nostojen toteuttaminen turvallisesti mutta kustannustehokkaasti. Nostot tehdään vain muutaman kerran ennen lopullista asemointia rakennukseen mutta silti nosto-osien suunnittelu ja toteutus on työlästä ja vaatii usein myös monimutkaisia työstöjä sekä teräsosia. Liinoilla toteutetut nostot taas ovat haastavia eikä liinoja saada käytettyä uudelleen.

Puurakenteiden jäykistys on ollut suunnittelijoille haastavaa, koska puuttuu selkeät valmisosat ja käytännössä jokaiseen kohteeseen suunnitellaan osat uudelleen. Myös eri toimittajat käyttävät erilaisia toteutuksia tuotantoteknisistä syistä eikä ole päästy samanlaiseen vakiointiin kuin betonirakentamisessa. Puurakentamisessa liitoksien jäykkyys ja ääneneristävyys ovat usein ristiriidassa. Kerrosten väliset värinäeristeet aiheuttavat haasteita kokonaisjäykistyksen toteutukseen.

Nosto-osat ja nostot ovat yleisesti työmaalla tarkkaan säädeltyjä ja niiden laadunvalvontaan käytetään paljon resursseja. Työmaakohteiset tilaelementtien nostosuunnitelmat laaditaan luottaen nosto-osien suunnitteluun ja toteutukseen. Näiden osalta on kuitenkin paljon ristiriitaisia näkemyksiä niin suunnittelun kuin toteutuksen osalta.

Tilaelementtien nostamiseen sekä rakennusten jäykistämiseen käytetään teräsosia, joita ei pystytä tällä hetkellä hyödyntämään ristiin. Nosto-osista ei ole noston jälkeen mitään hyötyä eikä kaikkia saada kierrätettyä. Asennusjärjestyksen vuoksi yleensä toisen puolen kiinnikkeet jäävät elementtien väliin.

3 Tutkimuksen tarkoitus, tavoite ja tutkimuskysymykset

Tutkimuksen tarkoituksena on kartoittaa nosto-osiin liittyvät määräykset, nykyiset mitoitusmenetelmät sekä yhdistää nämä mahdollisuuksien mukaan rakennuksen kokonaisjäykistykseen.

3.1 Tutkimuksen tarkoitus ja tavoite

Tutkimuksessa arvioidaan ratkaisuja millä päästäisiin sekä nostojen että jäykistykseen osalta mahdollisimman samanlaisiin rasituksiin eikä kumpikaan olisi ylimitoitettu olosuhteisiin nähden.

Pohdinnan ja jatkotutkimustarpeiden arvioinnin yhteydessä pyritään arvioimaan tilaelementtirakentamisen suuntauksia ja arvioimaan esitetyn ratkaisun vaikutuksia rakentamiseen.

Tutkimuksessa yhdistetään olemassa olevaa tutkimusaineistoa, alan kirjallisuutta mutta myös kirjoittajan omaa kokemusta liittyen aiheeseen.

3.2 Tutkimuskysymykset

Osana kirjallisuuskatsausta sekä kehitystehtävää ovat tutkimuskysymysten asettamiset. Tutkimusongelma voidaan tällöin jakaa pää- ja osaongelmiksi, jotka tarkoituksella muotoillaan tutkimuskysymyksiksi. Tutkimuskysymysten asettamisella haetaan kahta perustarvetta; tutkittavuus sekä käytettävyys. Tutkittavuudella pyritään siihen, että tulos pystytään saamaan aikaiseksi mielekkäällä tavalla. Käytettävyydellä pyritään sen sijaan siihen, että ne ovat hyödyllisiä käytännössä tai teoreettisessa tutkimuksessa. Näiden kahden perustarpeen välille muodostuukin kysymysten asettelun kannalta valintoja, jotka ovat tutkijan itsensä päätettävissä. Niiden avulla voidaan tarkastaa tutkimuksen aikana sekä sen lopussa, saadaanko vastattua haluttuihin tutkimuskysymyksiin. (Forsell, 2015)

Tutkimuskysymykset ohjaavat osaltaan kirjallisuuskatsauksen tekemistä sekä valittavaa aineistoa, koska niiden avulla voidaan rajata suoritettavan kirjallisuuskatsauksen laajuutta sekä konkreettisesti ohjata sen suuntaa. Toisaalta aineisto määrittää myös tutkimuskysymyksiä, jolloin kyseessä on

iteratiivinen prosessi näiden kahden välillä. Tutkimuskysymyksen tulisi kertoa tällöin mitä, miten ja miksi tutkimusta tehdään. Sen tulisi olla laajuudeltaan rajaava, jotta vältetään pinnallinen aiheen käsittely. Hyvin muotoillussa tutkimuskysymyksessä laajuus on suhteessa vaadittuun työmäärään, siihen voidaan löytää mielekäs vastaus ja se on merkityksellinen sekä siihen on hyödyllistä saada vastaus. (Forsell, 2015)

Tutkimuskysymykset voivat tarkentua sekä jopa muuttua kirjallisuuskatsauksen aikana, jos siihen nähdään aineiston osalta tarvetta. Tutkimuskysymysten muuttamisen syiden tulee olla kuitenkin tarkkaan perusteltuja ja syyt, jotka ovat johtaneet muutoksiin tulisi tuoda ilmi sekä raportoida. Kvantitatiivisessa tutkimuksessa tutkimuskysymyksiä muuttaminen ei ole suositeltavaa mm. tutkimusasetelmien vuoksi. Kvalitatiivisessa tutkimuksessa tutkimuskysymysten muuttaminen on sallitumpaa, kunhan syyt tuodaan ilmi ja raportoidaan.

Tutkimuskysymykselle voidaan asettaa tietynlaisia standardoituja vaatimuksia, joita ovat:

- Tutkimuskysymyksen tai tutkimuskysymyksiä tulee olla selkeitä, kysymyksen tulee olla selkeä tutkijalle itselleen sekä työn valvojalle.
- Tutkimuskysymyksen tulee olla toteutettavissa.
- Tutkimuskysymykseen vastaamiseksi on oltava saatavilla riittävät resurssit. Kysymyksen asettelun ei toisaalta tule olla liian laaja tai suppea aihepiirin kannalta.
- Sen tulee olla kytkettävissä aikaisempaan teoriaan ja tutkimukseen.
- Sillä tulee olla potentiaalia myötävaikuttaa tietämykseen aihealueesta.

(Jenson, 2011)

Tutkimuskysymykset yllä mainituin perustein:

- Mitkä ovat nosto-osien lakisääteiset vaatimukset?
- Miten nosto-osa määritellään?
- Miten nosto-osa määritellään osana rakennetta?
- Mitkä ovat tilaelementtirakenteisen kohteen jäykistysmenetelmät?
- Mitkä ovat asennustekniset vaatimukset yhdistetylle nosto- ja jäykistysosalle?

4 Tutkimusmenetelmän kuvaus

Tutkimusmenetelmä viittaa joukkoon järjestelmällisiä, teoreettisia ja käytännöllisiä menetelmiä, joita sovelletaan tietyn tutkimuskysymyksen tai -ongelman tutkimiseen. Se kattaa sekä tietojen keräämisen että analysoinnin tavat. Tutkimusmenetelmät jaetaan usein kahteen pääluokkaan: kvalitatiiviset ja kvantitatiiviset menetelmät, mutta ne voivat myös sisältää sekamenetelmiä, jotka yhdistävät näitä kahta lähestymistapaa. (Walliman, 2021)

Kirjallisuuskatsaus on systemaattinen ja kriittinen katsaus aiheesta jo olemassa olevaan kirjallisuuteen, tutkimuksiin ja muihin julkaisuihin. Tavoitteena on tiivistää, analysoida ja arvioida aikaisempaa tutkimusta tietystä aiheesta tai ilmiöstä. Kirjallisuuskatsaus auttaa ymmärtämään, mitä tietoa ja näkökulmia aiheesta on jo olemassa ja tunnistamaan mahdollisia aukkoja tai ristiriitoja nykyisessä tutkimuksessa.

Tutkimusmenetelmänä kirjallisuuskatsaus noudattaa tiettyjä vaiheita ja periaatteita:

Aiheen määrittely ja rajaus: Määritellään tutkimuksen aihe, tavoitteet ja rajaukset. Tämä auttaa keskittymään tiettyyn näkökulmaan tai osa-alueeseen.

Hakusanojen ja hakustrategian suunnittelu: Suunnitellaan hakusanojen ja -termien käyttö kirjallisuuden löytämiseksi. Tämä voi sisältää tietokantojen, kirjastojen ja muiden resurssien läpikäynnin.

Aineiston hankinta: Kerätään ja tarkistetaan relevantti kirjallisuus. Tätä varten käytetään erilaisia tietokantoja, kirjastoja, verkkosivustoja ja muita lähteitä.

Aineiston seulonta ja arviointi: Käydään läpi kerätty aineisto ja seulotaan se vastaamaan tutkimuksen tavoitteita. Tarkastellaan julkaisujen laatua, luotettavuutta ja relevanssia.

Aineiston analysointi ja synteesi: Tarkastellaan ja analysoidaan kirjallisuus systemaattisesti, tunnistetaan yhtäläisyyksiä, eroavaisuuksia ja olennaisia teemoja. Tietoja syntetisoidaan yhteen tuottaen yhteenvetoja ja päätelmiä.

Tulosten esittäminen: Esitetään kirjallisuuskatsauksen tulokset selkeästi ja ymmärrettävästi. Tämä voi sisältää kirjallisuusluettelon, taulukoita, kaavioita ja narratiivista kuvailua.

Tulosten tulkinta ja päätelmät: Tulkitaan aineiston perusteella saatuja tuloksia suhteessa tutkimuksen tavoitteisiin ja tehdään päätelmiä. Mahdollisesti ehdotetaan suuntaviivoja tulevalle tutkimukselle.

Kirjallisuuskatsauksen avulla tutkijat voivat saada kokonaiskuvan aiheesta, yhdistää erilaisia näkökulmia ja vahvistaa tietoa tietyn aihealueen nykytilasta. Tämä auttaa myös ohjaamaan ja perustelemaan uusia tutkimushankkeita sekä tarjoaa arvokasta tietoa päätöksenteon tueksi.

(Salminen, 2011)

5 Kirjallisuuskatsauksen kuvaus

Kirjallisuuskatsaus on järjestelmällinen ja kriittinen katsaus aiemmin julkaistuun kirjallisuuteen tietyllä tutkimusalueella tai aihepiirissä. Se pyrkii tunnistamaan, arvioimaan ja yhdistämään aiemmat tutkimukset ja löydökset tiivistääkseen olemassa olevan tiedon tilan, havaitut aukot ja mahdolliset ristiriidat. Kirjallisuuskatsauksen avulla tutkija voi hahmottaa tutkimuskentän laajuuden, tunnistaa tärkeät käsitteet ja käytetyt menetelmät sekä tarjota perustan omalle tutkimukselleen. Se voi myös toimia pohjana uuden tutkimuksen suunnittelulle ja hypoteesien muodostamiselle. (Grant & Booth, 2009)

5.1 Kuvaileva kirjallisuuskatsaus

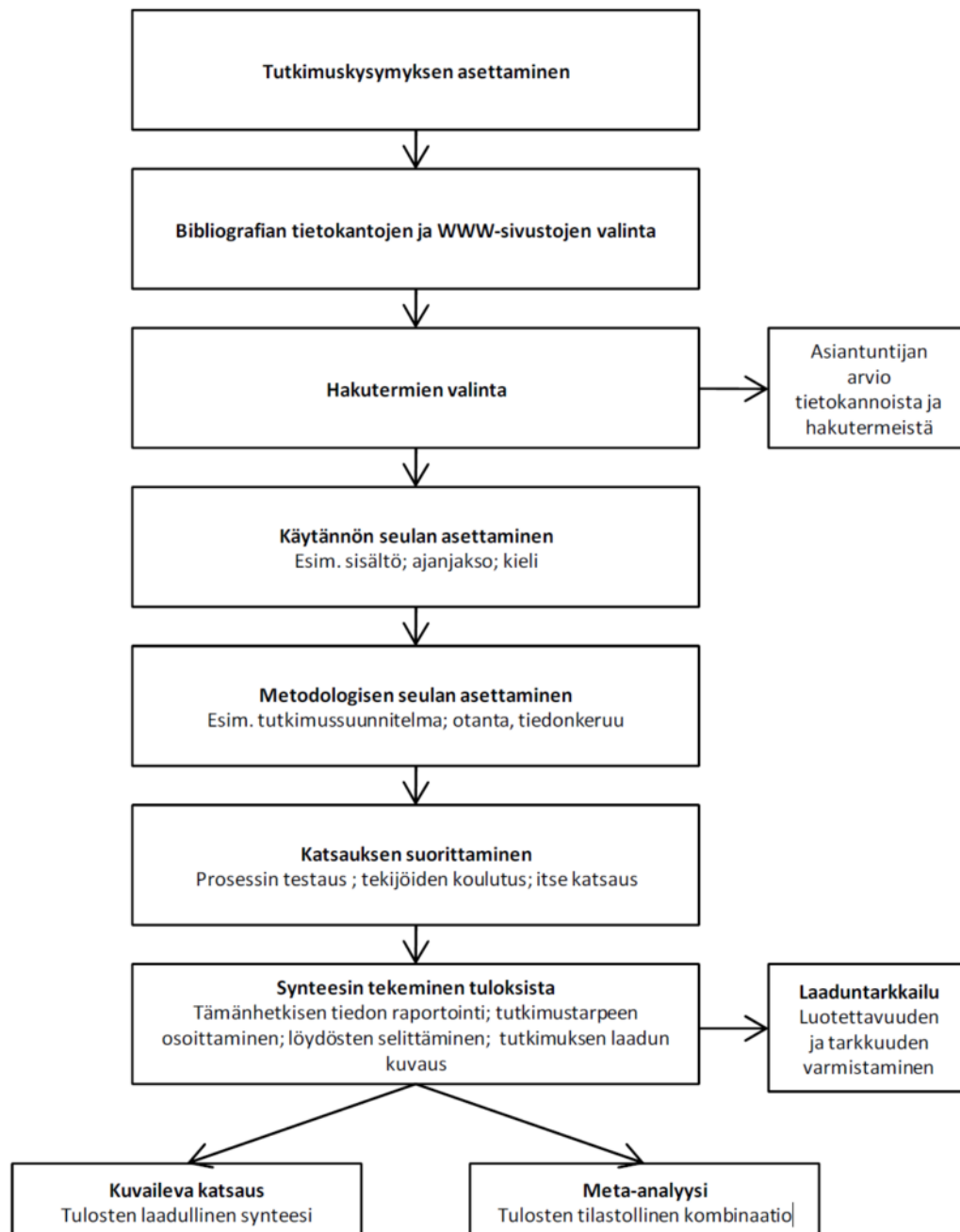
Kuvaileva kirjallisuuskatsaus tai traditionaalinen kirjallisuuskatsaus voidaan ymmärtää yleiskatsaukseksi aihepiiristä ilman tiukkoja ja tarkkoja sääntöjä. Siitä on olemassa kaksi erilaista orientaatiota, jotka ovat narratiivinen ja integroiva katsaus. Aineistot voivat olla laajoja ja niiden valintaa ei rajata metodisten sääntöjen mukaisesti. Etuna narratiivisessa kirjallisuuskatsauksen metodissa on, että sillä voidaan kuvata ilmiötä laaja-alaisesti ja luokittelemaan ilmiön ominaisuuksia sekä tarkastelemaan sitä monipuolisesti. Tutkimuskysymykset eivät ole niin rajattuja kuin systemaattisessa tai meta-analyysissä ja se voi tarjota tarkasteluun ilmiöitä tarkempia kirjallisuuskatsauksia varten. Narratiivinen katsaus voidaankin erottaa kolmeen toteuttamistapaan: toimituksellinen, kommentoiva ja yleiskatsaus. Toimituksellisessa katsauksessa suoritetaan kapeahko kirjallisuuskatsaus liittyen käsiteltävään teemaan siinä ollen alle kymmenen lähdeä. Kommentoivassa katsauksessa tarkoituksena on toimia keskustelun herättäjänä. Yleiskatsauksen tavoitteen on sen sijaan tiivistää aiemmin tehtyjä tutkimuksia yhteenvedon muodossa ytimekkäästi ja johdonmukaisesti (Salminen, 2011). Integroiva kirjallisuuskatsaus sen sijaan voidaan ymmärtää osana systemaattista kokonaisuutta, koska se sisältää kirjallisuuden kriittistä arviointia ja syntetisointia. Integroiva katsaus antaa kuitenkin laajemman kuvan aihepiiristä eikä siinä valikoida tai seulota

tutkimusaineistoa yhtä tarkkoilla rajaussäännöillä kuin systemaattisessa katsauksessa. (Salminen, 2011)

5.2 Aineiston haku

Luotettavia tietokantoja ovat oman korkeakoulun tiedekirjaston lisäksi löydettävissä erilaista tietokannoista ja myös internetistä (McCombes, 2019). McCombes listaa kirjoituksessaan muun muassa seuraavat keskeiset tiedonhakemiseen liittyvät sivustot ja tietokannat. Tällaisia ovat muun muassa:

1. EconLit (taloustieteet)
2. EBSCO
3. Google Scholar
(Googlen hakukone, joka keskittyy akateemiseen aineistoon)
4. Inspec (fysiikka, tekniikka ja tietotekniikka)
5. JSTOR
6. Medline (biotieteet ja lääketiede)
7. Oman tiedekirjaston tarjoamat palvelut
8. Project Muse (humanistiset tieteet ja sosiaali-ala)



Kuva 2. Kirjallisuuskatsauksen eteneminen Flinckin mukaan (Salminen, 2011)

Haku suoritettiin käyttäen Google- hakukonetta sekä Google Scholar hakukonetta aiheeseen liittyvien seminaarijulkaisujen sekä projektien loppuraporttien löytämiseksi. Alustavan haun kautta saatiin taulukko 1 mainitut hakuosumat sekä määrät, joista valittiin tarkempaan kokoteksti tarkasteluun vähintään viisi aineistoa eri tekijöiltä Google Scholar hakukoneen suorittamana hakuna.

Tutkimuskysymyksistä kolmeen ensimmäiseen etsitään vastausta lähinnä standardien ja määräyksien muodossa.

- Mitkä ovat nosto-osien lakisääteiset vaatimukset?
- Miten nosto-osa määritellään?
- Miten nosto-osa määritellään osana rakennetta?

Standardi SFS-EN 13155:2020 Nosturit. Turvallisuus. Irrotettavat nostoapuvälineet käsittelee nosto-osien turvallisuutta ja määrittelee mikä on nosto-osa.

Valtioneuvoston asetus 12.6.2008/400 koneiden turvallisuudesta määrittelee koneiden ja nosto-osien turvallisuutta. Asetus määrittelee varmuuskertoimia nostoapuvälineiden mitoitukseen.

Kahteen viimeiseen etsitään vastauksia tietokannoista.

- Mitkä ovat tilaelementtirakenteisen kohteen jäykistysmenetelmät?
- Mitkä ovat asennustekniset vaatimukset yhdistetylle nosto- ja jäykistysosalle?

5.3 Hakutulokset ja analyysituloksista

Hakutuloksissa esitetään ensimmäisessä taulukossa (taulukko 1) osumien määrät. Toiseen taulukkoon (taulukko 2) on kerätty hakutuloksista parhaiten aiheeseen sopivat teokset, mitkä on otettu tarkempaan tarkasteluun. Tarkastelun pääasiallisena tavoitteena on löytää vastauksia kahteen jälkimmäiseen tutkimuskysymykseen mutta teoksista on nostettu viittauksia myös muuhun tämän työn teoriapohjaan.

Taulukko 1 Hakutulokset ja osumat

Google Scholar	
hakusana	osumia
Tilaelementti + jäykistys	155
Tilaelementti + kokonaisjäykistys	18
Wooden apartment building + stiffening	7740
Tilaelementti + asennus	245
Multi-storey modular timber buildings + installation	2230

Taulukko 2 Tarkasteltavat lähteet hakusanoittain

Hakusana: Tilaelementti + jäykistys
CLT-rakenteiden liitostekniikka ja värinäeristetyn liitoksen mitoitus, I Kovalainen 2023
Tilaelementeistä kootun puukerrostalon jäykistäminen, D Lehtonen, 2022
FEM-laskennan hyödyntäminen puisen tilaelementtikerrostalon stabiliteetin laskennassa, J Tervonen - 2022
Hakusana: Modular wooden apartment building + stiffening
Stiffness of Experimentally Tested Horizontally Loaded Walls and Timber-Framed Modular Building, Miedziadowski, C., Czech, K. R., Nazarczuk, M., Kosior-Kazberuk, M., & Żakowicz, A. 2023
Numerical and experimental investigations of prefabricated light-frame timber modules, Kuai, L., Ormarsson, S., & Vessby, J. 2024
Stabilisation of higher wooden houses in volume building technology, Ebba Gipperth 2020
Hakusana: Tilaelementti + asennus
Moduulirakentamisen logistiikka ja asennus, J Hyttinen - 2020
CLT-tilaelementtikerrostalon työmaatekniikka, M Saari - 2022
CLT-tilaelementtirunkoisen puukerrostalon liitosten laadunvarmistus, J Inkeroinen – 2021

Hakusana: Multi-storey modular timber buildings + installation
Inter-module connections in multi-storey modular timber buildings, J Koskimies - 2022
Building services in timber construction – Investigation on difficulties and reliefs during the installation procedures in multi-storey timber residential buildings, D Koppelhuber 2020
Modular multi-storey construction with cross-laminated timber, Ahmad Al-Najjar 2023

Aineistoanalyysin pohjalta tehtiin tiivistys tutkimuskysymyksiin. Johtopäätökset on esitetty alla tutkimuskysymyksittäin.

Mitkä ovat tilaelementtirakenteisen kohteen jäykistysmenetelmät?

Aineistosta käy nopeasti selville, että suomalaisessa puurakentamisessa pyritään jäykistämään kohteet puurakenteilla (Lehtonen, 2022) (Hyttinen, 2020). Tilaelementtien seinät muodostavat levyjäykisteet, jotka sidotaan kerroksittain toisiinsa kuten tämän työn mallikohteessa. Samaa menetelmää käytetään sekä CLT että rankarunkokohteissa. Jäykistysmenetelmät itsessään ovat selkeitä. Suurimmat ongelmat ja epävarmuudet liittyvät rakennuksen kuormien tarkkaan laskentaan, jäykistävien seinien jäykkyyksiin ja liitososien kapasiteetteihin. Viimeisen kolmen vuoden aikana on valmistunut useita insinööritöitä, jotka käsittelevät tilaelementtipuukerrostalojen jäykistystä sekä niiden liitoksia.

Muulla tilaelementtikohteiden jäykistystä hoidetaan yllättävän usein esimerkiksi betonirakenteisella porraskuiluilla tai erillisellä liimapuu-/teräsrungolla. (Gipperth, 2020)

Näihin ratkaisuihin liittyy omia haasteita esimerkiksi painumien vuoksi mutta varmasti ovat ratkaistavissa, jos asiaa tutkitaan tarkemmin. Olisi hyvä hahmotella myös näitä eri variaatioita suomalaiseen puurakentamiseen syvällisemmin.

Mitkä ovat asennustekniset vaatimukset yhdistetylle nosto- ja jäykistysosalle?

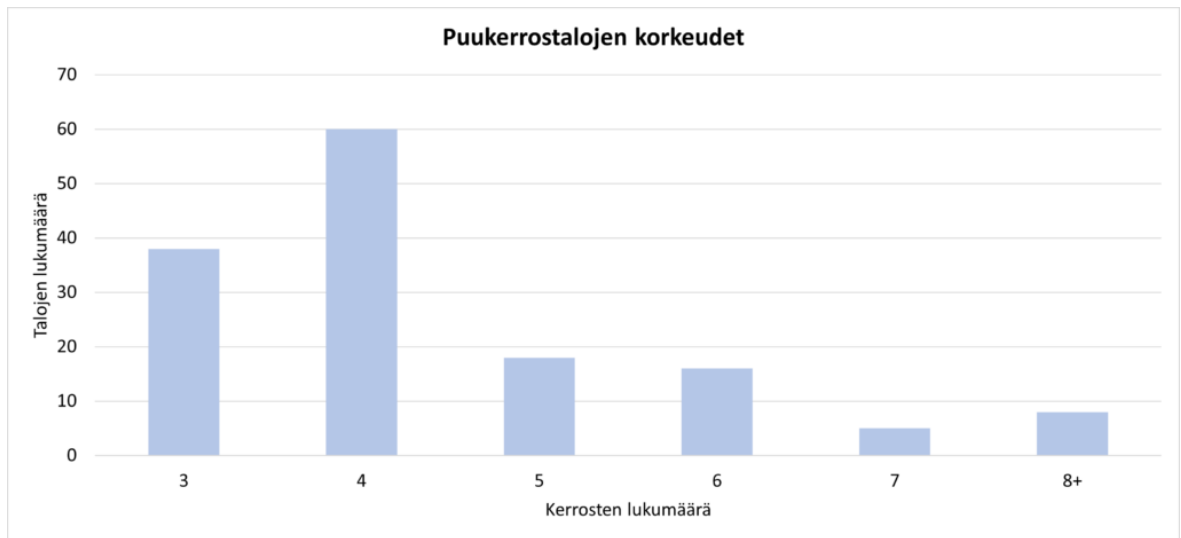
Itse asennustekniikkaan löytyy todella vähän tutkimusmateriaalia. Tämä osuus olisi varmasti tuottanut parhaan lopputuloksen kyselymuodossa eri työmaille.

Asennustekniikan kannalta olisi parasta, jos kiinnitysosat ohjaisivat tilaelementin suoraan oikealle paikalleen. Tähän on jonkin verran tehty tilaelementtitoimittajien toimesta kehitystyötä mutta äänitekniikan varmistaminen näissä liitoksissa on haasteellista.

Muilta osin liitososan pitää olla yhden asentajan asennettavissa sekä tarvittaessa purettavissa pois. Ruuvikiinnikkeinen liitososa toimii hyvin, kun ruuvaus on selkeästi esitetty ja esimerkiksi merkattuna itse liitososaan. (Kovalainen, 2023)

6 Mallikohteen esittely

Suomalaisia puukerrostaloja on valmistunut 10/2023 mennessä valmistunut 146 taloa ja 5024 asuntoa. (Puuinfo A, 2023)



Kuva 3. Toteutuneiden puukerrostalojen kerrosmäärät (Puuinfo A, 2023)

Pääosin puukerrostalot ovat olleet alle kuusikerroksia (kuva 3) mikä mukailee rakennettua asuntokantaa yleisesti. Korkeampien puukerrostalojen suunnittelu on mahdollista ja ratkaisuja niihin löytyy. Kuitenkin isomman mittakaavan tuotannossa tulisi keskittyä alle kuuden kerroksen tuotantoon millä saataisiin määrää ylös ja käytettyä vakioituja ratkaisuja.

Työn mallitaloksi on näillä perusteilla valittu kuusikerroksinen tilaelementtirunkoinen talo. Kohde ei ole mikään todellinen hanke, vaan tähän on valittu suunnitelmien kannalta sellaiset ratkaisut, jotka tuottavat mahdollisimman painavat tilaelementit sekä suuret jäykistysvoimat.

6.1 Suunnitteluperusteet

Rakenteiden suunnittelun ja toteutuksen perusteet on asiakirja, joka kuuluu rakennesuunnittelun ensimmäisiin tuotettaviin asiakirjoihin. Tilaajan tulee huolehtia, että hankkeen suunnitteluperusteet on laadittu ja hyväksytty rakennusvalvonnassa ennen kohteen tarkemman suunnittelun aloitusta. Yleisesti tämä asiakirja liitetään rakennuslupahakemukseen ja hyväksytään viranomaisen puolelta lupavaiheessa. Suunnitteluperusteet tuottaa myös pääsuunnittelijalle lähtötietoa tarkentaa suunnittelua lupapiirustuksiin. Haasteena tässä on projektit missä rakennesuunnittelijaa ei välttämättä olla valittu ennen lupavaihetta. Puukerrostalohankkeissa on myös ollut ongelmia puutteellisten suunnitteluperusteiden myötä eikä kaikilla osapuolilla rakennesuunnittelija – viranomainen - tuoteosatoimittaja ole ollut yhteistä käsitystä käytettävistä menetelmistä.

Rakennustarkastusyhdistys RTY ry:n ylläpitämältä TOPTEN sivustolta löytyy rakennusvalvontojen yhteinen tulkinta suunnitteluperusteiden tavoitteesta sekä ohjeellinen malli asiakirjasisällöstä.

Rakenteiden suunnittelun ja toteutuksen perusteet-asiakirjaan kerätään vastaavan rakennesuunnittelijan toimesta suunnittelun ja toteutuksen tärkeimmät lähtötiedot, lähtökohdat ja vaatimukset sekä niihin liittyvät lähteet.

Asiakirjan tavoitteena on muun muassa:

- antaa selkeä kokonaiskuva suunnittelun ja toteutuksen perusteista hankkeen muille osapuolille, kuten rakennushankkeeseen ryhtyvälle, pääsuunnittelijalle ja muille suunnittelijoille sekä rakennusvalvonnalle
- tehostaa suunnittelijoiden välistä yhteistyötä ja helpottaa suunnitelmien laadintaa
- varmistaa oikeiden lähtötietojen käyttö eri suunnittelijoiden toimesta
- vähentää eri suunnitelmissa esitettävää yleistä tietoa ja ristiriitoja, koska ko. suunnitelmissa voidaan viitata tähän asiakirjaan.

(Rakennustarkastusyhdistys, 2020)

6.2 Mallikohteen suunnitteluperusteet

Mallikohteen perustiedot:

Kerrosala	3500 kem ²
Käyttötarkoitus	Asuintalo
Kerrosluku	6
Runkomateriaali	Puu
Runkojärjestelmä	Tilaelementti

Rakenteiden vaativuusluokka

Betonirakenteet	Vaativa
Puurakenteet	Vaativa
Rakennusfysiikka	Vaativa

Paloluokka	P2
Palonkestovaatimus	R60
Rakenteiden vaatimus	R60
Osastointivaatimus	EI60

Mallikohteen kuormitukset:

Pysyvät ja muuttuvat tasokuormat:

Puupalkkivälipohja	1,8 kN/m ²
Vesikaton pintarakenteet	0,8 kN/m ²
Tate ripustukset	0,5 kN/m ²

Tasojen hyötykuormat:

Välipohja	2,0 kN/m ²
Portaat	2,5 kN/m ²
Pistekuorma	2,0 kN
Vaakakuorma	0,5 kN/m

Tuulikuorma

Maastoluokka	II
Nopeuspaineen ominaisarvo	0,8 kN/m ²
Arvio kokonaistuulivoimasta	420 kN

Lumikuorma	
Lumikuorma maassa	3,0 kN/m ²
Lumikuorma katolla	2,4 kN/m ²
Katoksien korotettu lumikuorma	4,50 kN/m ²

Lisävaakavoimat

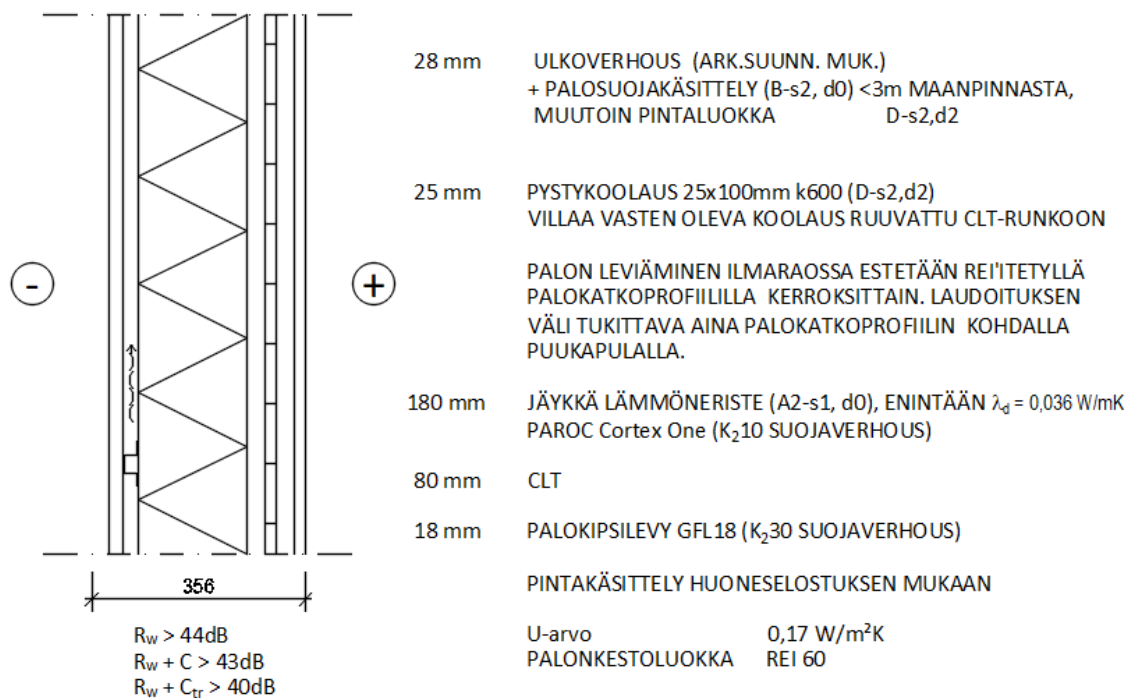
Rakennuksen lyhyemmässä suunnassa	$Hdt=Nd/150$
Rakennuksen pidemmässä suunnassa	$Hdl=b/l \cdot Nd/150 \geq Nd/250$

Rakennejärjestelmän kuvaus:

Kohde on maanvaraisesti perustettu, tuulettuva alapohjainen tilaelementtikerrostalo. Rakennus jäykistetään CLT runkoisilla ulko- ja väliseinillä (kuva 4 ja kuva 5). Välipohjat kertopalkkirakenteisia (kuva 6). Yläpohja on NR-ristikkorakenteinen (kuva 7).

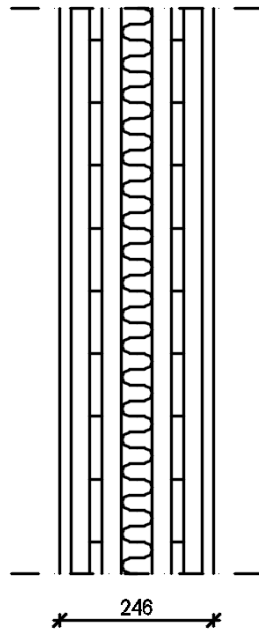
6.3 Rakenteet

Ulkoseinärakenne



Kuva 4. CLT rakenteinen ulkoseinä (Matikainen, 2023)

Väliseinärakenne



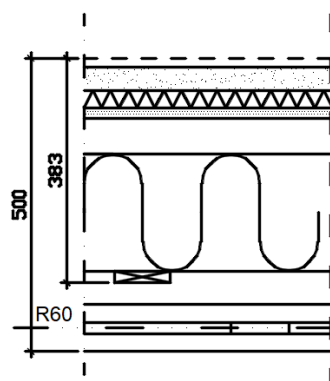
	PINTAKÄSITTELY ARK-SUUNNITELMIEN MUKAAN
18 mm	PALOKIPSILEVY GFL18 (K ₂ 30 SUOJAVERHOUS) A2-s1,d0
80 mm	CLT (30-20-30, REUNALAMELLIT PYSTYSUUNTAAN)
50 mm	KIVIVILLA 50mm
80 mm	CLT (30-20-30, REUNALAMELLIT PYSTYSUUNTAAN)
18 mm	PALOKIPSILEVY GFL18 (K ₂ 30 SUOJAVERHOUS) A2-s1,d0

PINTAKÄSITTELY ARK-SUUNNITELMIEN MUKAAN

- ÄÄNITASOEROLUKU: $D_{nT,w} \geq 55$ dB
 - PALONKESTOLUOKKA REI 60

Kuva 5. CLT rakenteinen väliseinä (Matikainen, 2023)

Väliohjarakenne



Rakenteen omapaino:

neliöpaino: 1,81 kN/m²

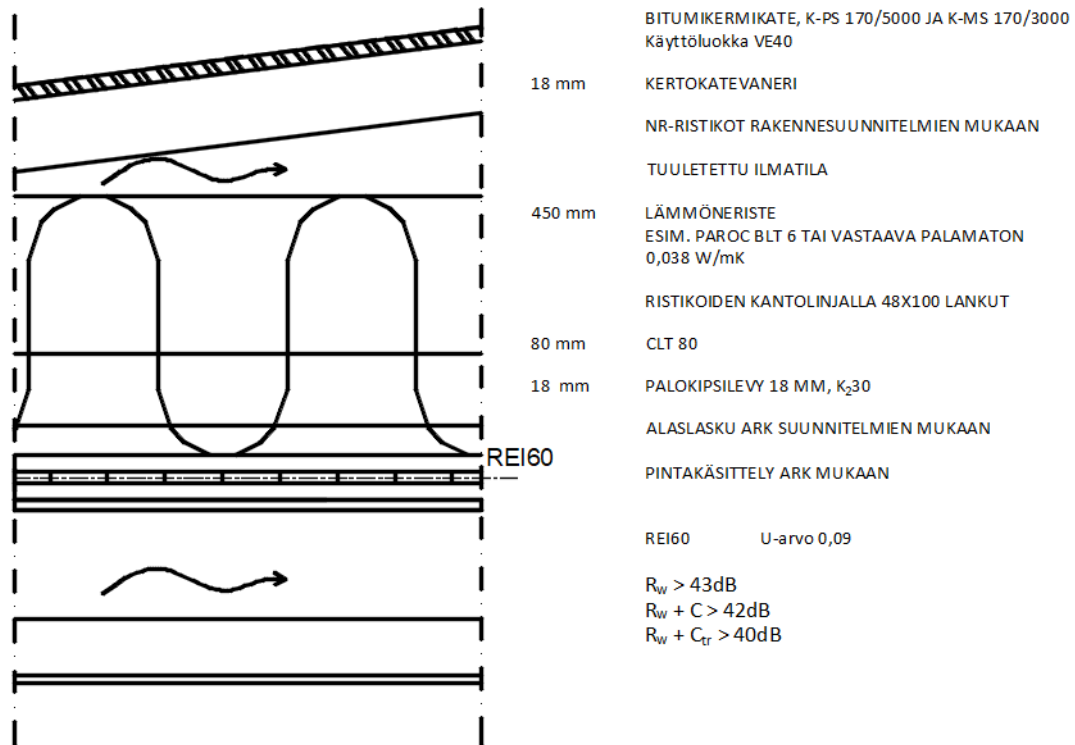
15 mm	PINTAMATERIAALI ARK-SUUNNITELMIEN MUKAAN
40 mm	PLAANOVALU (K ₂ 30 SUOJAVERHOUS) A2-s1,d0
30 mm	ASKELÄÄNIERISTE (UPONOR TACKER tai PAROC SSB 2t)
18 mm	OSB-LEVY
260 mm	KERTO-S 51x260, JAKO ELEM.SUUNN. MUKAAN K300-400 + PEHMEÄ LÄMMÖNERISTE 150mm ÄÄNENERISTYSTÄ VARTEN
20 mm	KOOLAUS 20x95 k400
37 mm	ILMAVÄLI / LATTIAN KANNATUSPUU + ÄÄNENERISTYSKUMI
80 mm	CLT 80 (30-20-30), ALAPINTA VISUAALINEN LAATU (K ₂ 30 SUOJAVERHOUS, PALOTEKNISEN LAUSUNNON MUKAAN)

PINTAKÄSITTELYT ARK-SUUNNITELMIEN MUKAAN

ÄÄNITASOEROLUKU: $D_{nT,w} \geq 55$ dB
 ASKELÄÄNITASOLUKU: $L'_{nT,w} + C_{1,50-2500} \leq 53$ dB
 PALONKESTOLUOKKA REI 60

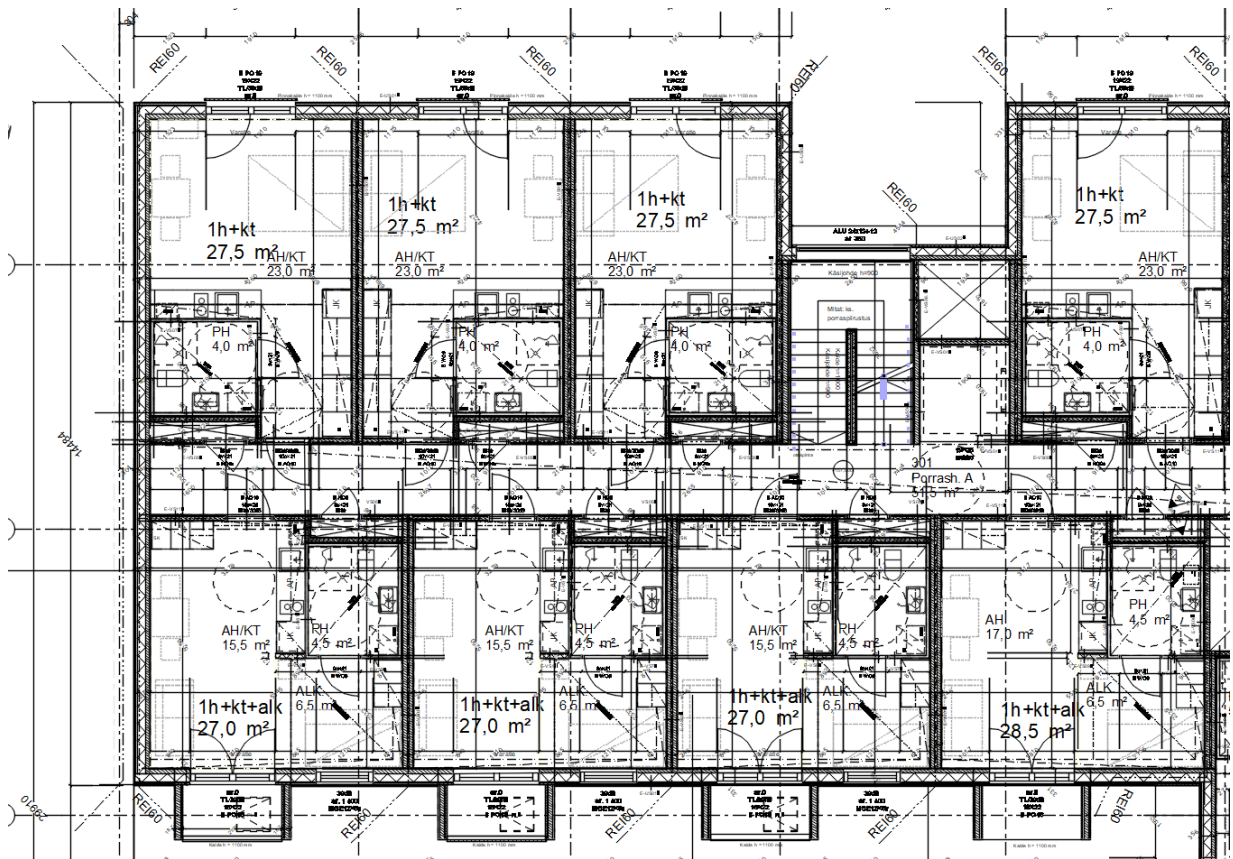
Kuva 6. Tilaelementin väliohjarakenne (Matikainen, 2023)

Yläpohjarakenne



Kuva 7. NR-ristikkorakenteinen yläpohja (Matikainen, 2023)

Kerroksen mallipohjassa (kuva 8) on esitetty tyypillisiä tilaelementtikohteen ratkaisuja. Asunnot muodostuvat pääosin yhdestä tilaelementistä missä tekniikkahormi rajautuu kylpyhuoneen ja kerroskäytävän väliin. Myös porrashuoneet pyritään elementoimaan tilaelementiksi. Käytävät toteutetaan yleensä CLT tasolaattoina.



Kuva 8. Tilaelementti rakenteisen puukerrostalon mallipohjapiirustus (Matikainen, 2023)

7 Käytössä olevat nostojärjestelmät

Tilaelementit nostetaan tyypillisesti 4:ää nostopistettä käyttäen mutta 6:en tai 8:an nostopisteen käyttö on myös mahdollista. (Stora Enso, 2016) Noston alussa varmistetaan osoitettujen nostokohtien oikeellisuus ja nostoapulaitteiden kunto, ja niiden toimintaa tulee seurata koko nostotyön ajan. Noston loppuvaiheessa tilaelementtiä ohjataan asennuskangilla. Elementti lasketaan ja asennetaan ennalta merkittyjen ja mitattujen asennuspaikkojen ja merkintöjen mukaan. Asennuksessa voidaan käyttää teräksisiä ohjausosia helpottamaan elementin asennusta ja kohdistamista. (Talonrakennusteollisuus ry, 2014)

7.1 Nostot työmaalla

Kaikki työmaalla suoritettavat nostot ovat suuren riskin työvaiheita. Nostotyössä minkä tahansa rakennusosan pettäminen aiheuttaa aina vakavan vaaratilanteen. Vakavia onnettomuuksia sattuu työmailla selvästi eniten nostojen yhteydessä. Pääurakoitsija on aina vastuussa tarkastaa elementtien asennus ja nostosuunnitelmat ennen työvaiheen toteutusta. Asennussuunnitelmassa tulee olla vastaavan työnjohtajan, työvaiheen työnjohtajan sekä suunnittelijoiden allekirjoitukset. Tilaelementtikohteissa mielellään sekä vastaavan rakennesuunnittelijan että elementtisuunnittelijan allekirjoitukset. Tällä tavoin varmistetaan, että kaikki osapuolet ovat ymmärtäneet rakenteet ja asennustavan samalla tavalla.

Päätoteuttajan on huolehdittava, että elementtien asennussuunnitelma on kirjallisena työmaalla. Elementtien asennussuunnitelmassa on oltava suunnittelijoiden hyväksymismerkintä. Asennussuunnitelmassa on otettava huomioon valmistajan antamat tuotekohtaiset ohjeet.

Elementtien asennussuunnitelmassa on selvitettävä nostotyössä käytettävä nostokalusto, taakkojen paino elementtityypeittäin, nostopaikat, nostoapuvälineet elementtityypeittäin, nostojen ohjaus ja mahdolliset rajoitukset. Asennussuunnitelmassa on elementin asennusnosturiksi valittava torninosturi,

ajoneuvonosturi tai muu suoritusarvoltaan riittävä ja muilta ominaisuuksiltaan tarkoitukseen suunniteltu ja soveltuva nosturi.

Elementtien asennussuunnitelmassa on esitettävä ohjeet sekä väliaikaisesta tuennasta että tuennan purkamisesta asennusvaiheittain. (Asetus rakennustyön turvallisuudesta 205/2009, 2009)

Puuelementtiasennuksien turvallisuuteen kiinnitetään vielä erikseen huomiota asetuksessa ja painotetaan nostopisteiden tarkastusta ennen nostoa.

Puuelementtien asennussuunnitelmaa laadittaessa on otettava huomioon puuelementtien liitosten vaikutus rakenteen työnaikaiseen vakavuuteen ja asentamisen turvallisuuteen. Elementtirakenteiden, kuten esimerkiksi piuelementtien, suurelementtien, tilaelementtien, liimapuurakenteiden, viilupuurakenteiden ja vastaavien elementtien toteutuksen työturvallisuus on suunniteltava.

Puuelementtien nostokohdat on tarkistettava ennen nostoa. Erityisesti on huolehdittava siitä, etteivät rakenteet halkeile tai muuten vaurioidu liittimien, nostolenkkien ja vastaavien rakenteen osien kohdalta

(Asetus rakennustyön turvallisuudesta 205/2009, 2009)

7.2 Liinanostot



Kuva 9. Liinoilla suoritettava tilaelementin nosto (Puuinfo B, 2020)

Liinanostot ovat olleet yksinkertaisin tapa toteuttaa tilaelementtien nostot ja tehtaat ovatkin yleisesti lähteneet toimintaan liinanostoilla. Liinoilla elementtiä nostettaessa kuormitus kohdistuu elementin pohjaan ja on helpommin hallittavissa kuin kiinnikkeillä yläreunasta nostettaessa. Liinojen kapasiteetit ovat tarkkaan tiedossa ja sitä kautta nosto on turvallinen. Elementin alareunaan täytyy tehdä liinoille varaukset, ettei tilaelementti jää kantamaan liinan kohdalla ja toisaalta liina ei saa kiristyä terävää CLT reunaa vasten. Ongelmana liinanostoissa on, että liinan poisvetäminen asennuksen jälkeen on todella hankalaa tai jopa mahdotonta. Tästä syystä liinan joutuu katkaisemaan ja jättämään rakenteeseen sisään. Tämä aiheuttaa kustannuksia asennukseen.

7.3 Kierretangot



Kuva 10. Kierretangoilla suoritettu tilaelementtinosto (Puuinfo B, 2020)

Kierretankonostoissa tavoitteena on viedä tukipiste liinanoston tavoin tilaelementin CLT seinien alaosaan. Tällöin nostonaikaisia rasituksia on helpompi hallita ja nosto on tukevampi. Kierretankoja käytettäessä periaate on saada itse kierretangot pois ja käytettäväksi uudelleen. Kierretankojen vastakappaleet voivat jäädä rakenteen sisään. Kierretankojen haasteena on CLT levyyn tehtävät työstöt mikä lisää CLT:n tuotantokustannuksia.

7.4 Ruuvattavat nosto-osat



Kuva 11. Ruuvattavilla nosto-osilla suoritettu tilaelementtinosto (Puuinfo B, 2020)

Ruuvattavat nosto-osat ovat tuotannon ja työmaan kannalta kaikista edullisin vaihtoehto. Teräsosat ruuvataan kiinni runkoon ja noston jälkeen ruuvataan pois uudelleenkäyttöä varten. CLT levyyn ei tarvita erillisiä varauksia. Menetelmän haittapuolena on suuri ruuvimäärä ja varmuuden saavuttaminen.

7.5 Muut nosto-osat

Muista nostotavoista voidaan mainita vielä erikseen lyhyet kierretangot tai vastaavat vetotangot tilaelementtirungon yläosaan. Näillä pyritään saamaan nostorasitus suoraan runkoon ja tällä tavoin vähentää ruuvauksen tarvetta. Näiden haasteena on ollut CLT rakenteen kestävyysarviointi ja laskenta. Varsinkin 3-kerroslevyjen kapasiteetit ovat varsin rajalliset.

Rothoblaas on kehittänyt osan millä voi yhdistää sekä nostamisen että rakenteiden kiinnittämiseen toisiinsa. X-RAD kiinnitysjärjestelmä ruuvataan CLT levyjen nurkkaan (kuva 12)



Kuva 12. Rothoblaas X-RAD kiinnitys- ja nosto-osa (Rothoblaas, 2023)

Osan avulla voidaan myös nostaa joko yksittäisiä CLT levyjä tai kokonaisia tilaelementtejä. (kuva 13)



Kuva 13. Tilaelementin nosto X-RAD osalla. (Rothoblaas, 2023)

8 Käytössä olevat jäykistysjärjestelmät

Jäykistysjärjestelmän tehtävänä on siirtää rakennukseen kohdistuvien vaakakuormitusten aiheuttamat rasitukset perustuksiin ja maapohjaan. Vaakakuormat koostuvat ulkoisista vaakakuormista ja pystykuormista aiheutuvista vaakakuormista. Ulkoisille vaakakuormille on ominaista se, etteivät ne synny rakenteiden sijainnin poikkeamisesta tarkoitetusta asemastaan. Näitä voi tulla esimerkiksi tuulesta ja nosturien jarruvoimista. Pystykuormien aiheuttavat vaakavoimat syntyvät esimerkiksi pystyrakenteiden poikkeamisesta ideaalisesta pystysuunnasta, mikä voi aiheutua esimerkiksi asennustoleransseista. Nämä kuormat viedään aina perustuksille. Vaakakuormia ovat tuulikuormat ja pystyrakenteiden vinoudesta aiheutuvat lisävaakavoimat. Muita mahdollisia vaakakuormia ovat törmäyskuormat sekä nosturikuormat.

Jäykistysjärjestelmää suunniteltaessa on huomioitava:

- Jäykistysjärjestelmien osien kapasiteetti ei ylitä missään kuormitustapauksessa
- Rakennuksen ja sen osien muodonmuutokset ja siirtymät pysyvät riittävän pieninä, eivätkä aiheuta rakennuksen käytölle haittoja turvallisuuden tai käyttökelpoisuuden suhteen
- Rakenteen staattinen tasapaino on riittävä, toisin sanoen rakenne ei kaadu
- Jatkuva sortuma pyritään estämään ja rajoittamaan määräysten mukaisesti rakenteellisin keinoin onnettomuustilanteissa
- Asennustilanteen jäykistyksen on oltava toimiva ja asennusvaiheen stabiliteetti on aina tutkittava erikseen

Elementtirakennuksen jäykistys on yleensä aina vaativa suunnittelutehtävä, koska jäykistysjärjestelmä on yleensä toimiva ja kykenee ottamaan vastaan jäykistyksestä tulevia rasituksia vasta kun eri osien väliset liitokset ovat valmiita. (Betoniteollisuus ry, 2010)

8.1 Tilaelementtirakentamisen yleisperiaatteet

Tilaelementti koostuu ala- ja yläpohjasta sekä vähintään päätyseinistä. Tilaelementti kasataan elementtitehtaalla tasoelementeistä, jotka muodostavat kasauksen jälkeen tilaelementin. Rakennettaessa tilaelementtijärjestelmällä rakennus koostuu viipaleista, jotka saattavat olla kokonaisia tiloja tai tilojen osia. Tilaelementtijärjestelmä soveltuu parhaiten kohteisiin, joissa toistojen määrä on suuri, esimerkiksi elementtien rakenteiden, dimensioiden tai ominaisuuksien osalta. Tämä vähentää suunnittelun määrää ja tekee valmistusprosessista yksinkertaisemman, toistuvien ratkaisujen ansiosta. (Tolppanen;Karjalainen;Lahtela;& Viljakainen, 2013)

Rakentaminen perustuu tehdastuotantoon, jossa tilat pyritään saamaan niin valmiiksi, että työmaalle ei jää kuin maanrakennustyöt, perustustyöt, elementtien asennus, elementtisaumojen viimeistely sekä talo-, sähkö- ja kunnallistekniset liitännät. Tehdasvalmisteinen tilaelementti voi sisältää muun muassa kantavan rungon, eristyksen, ulkoverhousmateriaalin, sisäpuolisen levytyksen, lattiamateriaalin, listoitukset, ovet ja ikkunat, pintakäsittelyt, kalusteet sekä LVISA- tekniikan, mikä tekee siitä esivalmiusasteeltaan pisimmälle viedyn rakentamistavan. Tilaelementtijärjestelmällä rakennetun rakennuksen esivalmiusaste voi olla jopa 90 prosenttia. Tilaelementtityypit voidaan jakaa kahteen osaan: vakiomittaiset tilaelementit ja yksilöidyt tilaelementit. (Tolppanen;Karjalainen;Lahtela;& Viljakainen, 2013)

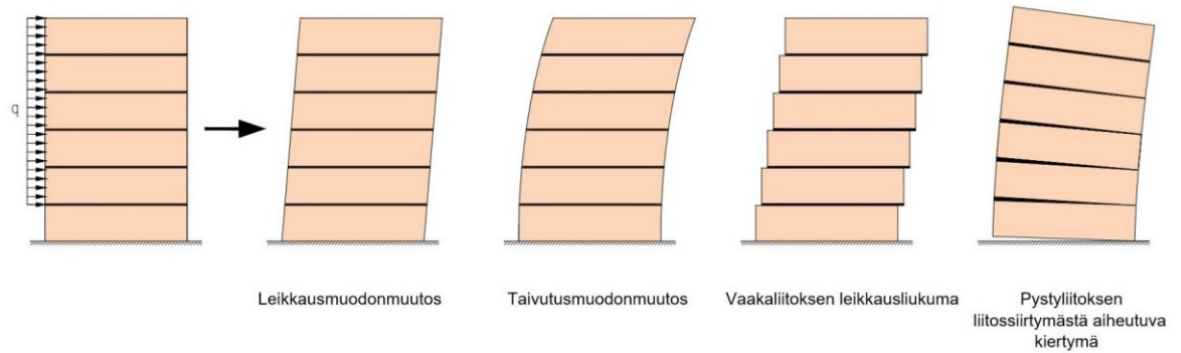
8.2 Rakennuksen jäykistämisen yleisperiaatteet ja vaatimukset

Rakennus tulee jäykistää vaakakuormitusta vastaan. Pääasiallinen vaakakuorma Suomessa on tuulikuorma, joissakin maissa lisäksi maanjäristyksen aiheuttamat vaakakuormat. Mitä korkeampi rakennus on, sitä haasteellisempaa sen jäykistäminen on. Lisäksi haasteellisuuteen vaikuttaa rakennuksen runkosyvyys, hoikka rakennus huojuu helpommin. Kun rakennus on yli 2-kerroksinen, alkaa jäykistävien rakennusosien ja näiden välisten liitosten voimat kasvaa huomattavasti. Jäykistyksessä tulee tarkastella myös rakennuksen vaakasuuntaista siirtymää, joka saa olla ylimmän lattiatason kohdalla $H / 500$ (H = korkeus perustuksesta lattiatasoon).

Usein puurakennuksessa suunnitteluhaasteena on myös rakennuksen ankkurointi kerroksittain ja perustukseen. Tämä johtuu siitä, että puurakennuksessa (myös massiivipuulevyrungossa) ei useinkaan ole niin paljon omapainoa, jotta ankkurointivoimat (vetovoimat) saataisiin kumottua. Massiivipuulevyt soveltuvat hyvin rakennuksen jäykistämiseen, koska ne ovat lujia, jäykkiä ja niihin voidaan kiinnittää järeitä liitoselemiä. Massiivipuulevyjä voidaan käyttää jäykisteinä myös muissa runkojärjestelmissä kuin massiivipuulevyrungossa. (Puuinfo C, 2020)

Levyjäykisteinen runko muodostuu jäykistävästä seinistä ja jäykistävästä vaakarakenteista. Tyypillisesti vaakarakenteet välittävät vaakakuormituksen jäykistäville seinille. Näin syntyvä jäykistävän seinän vaakakuormituksen suuruus on riippuvainen jäykistävän seinän mekaanisesta toiminnasta. Mikäli jäykistävä vaakarakenne on koko rakennuksen alueella oleva äärimmäisen jäykkä rakennusosa, jakautuvat voimat seinien jäykkyyksien suhteessa vaakarakenteeseen muodostuva ”kiertokeskiön” kautta. Betonirungossa tavallisesti ajatellaan näin, koska vaakarakenne on yhtenäinen koko rakennuksen alueella ja betonirakenteet ovat hyvin jäykkiä.

Puurakenteiset vaakarakenteet ovat ”joustavia”, johtuen materiaaliominaisuuksista ja liitoksissa käytettävistä mekaanisista puikkoliittimistä (jäykistävät levyt ja elementtien saumat). Tämän lisäksi ääni- ja värähtelyteknisistä syistä vaakarakenne joudutaan tavallisesti katkaisemaan esimerkiksi huoneistojen välillä, joten yhtenäistä koko rakennuksen alueella olevaa vaakarakennetta ei ole tällöin olemassa. Tällaisessa joustavassa rungossa vaakarakenne jakaa kuormituksen jäykistäville seinille seinien kuormitusleveyteen perustuen.



Kuva 14. Puukerrostalon mahdolliset muodonmuutokset (Lehtonen, 2022)

Tilaelementtirakenteiseen puukerrostaloon voi syntyä leikkaus- tai taivutusmuodonmuutoksia itse tilaelementtien muodonmuutoksista, kuten kuvassa (kuva 14) on esitetty. Lisäksi jäykistysseinien väliset vaakaliitokset voivat aiheuttaa tilaelementtien liukumista, jota tilaelementtien väliset tärinäeristimet voivat kasvattaa. Pystyliitoksien, kuten vetoliitosten, liitossiirtymistä voi aiheutua tilaelementtien kiertymistä rakennuksessa. Lisäksi vaakakuormituksen takia puristuspuolen tärinäeristimet puristuvat jonkin verran normaalivoiman vaikutuksesta tilaelementtien välillä, jolloin se aiheuttaa koko rakennuksen kiertymistä (Kotrby, 2020)

Esitetyistä muodonmuutoksista CLT levyjen mitoituksella varmistetaan, ettei leikkaus tai taivutusmuodonmuutosta voi tapahtua.

Vaakaliitoksen leikkausliukuma sekä pystyliitoksen liitossiirtymä varmistetaan teräsosan avulla. Leikkausliukumaa voidaan hallita myös elementtien välisen kitkan avulla. Tästä on kuitenkin edelleen erilaisia näkemyksiä ja tilaelementtirakentamisen yksinkertaistamisen vuoksi tämä hoidetaan muulla tavoin.

Tilaelementtien ja tärinäeristimen välisen kitkan huomioiminen vähentää teräsosien tarvetta ja samalla parantaa rakennuksen ääneneristävyyttä. Ääneneristysvaatimukset ja teräsosat aiheuttavat lisäkustannuksia puurakentamisessa. Kustannustehokkuuden kannalta olisi edullisempaa, jos jäykistämässä pystyttäisiin hyödyntämään myös rakenneosien välinen kitka, kuten esimerkiksi betonielementtitaloissa hyödynnetään. Kuitenkin kitkan hyödyntäminen puurakentamisessa on haasteellista puukerrostalojen

keveyden ja siten pienen pystykuorman takia, mikä pienentää kitkaliitosten kapasiteettia. (Juntila, 2015)

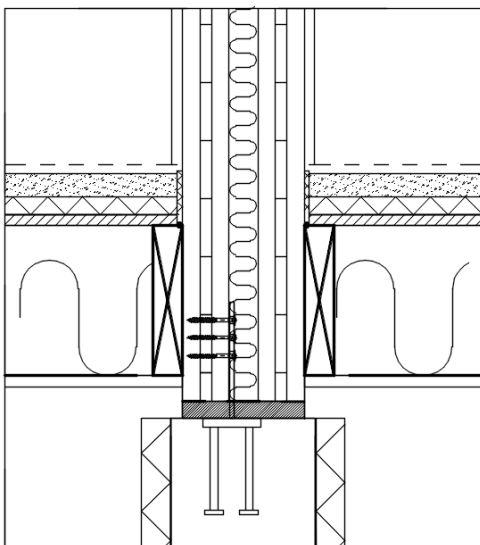
8.3 Levyjäykistyksen liitokset

Levyjäykistykseen kuuluu kolmenlaisia voimaliitoksia.

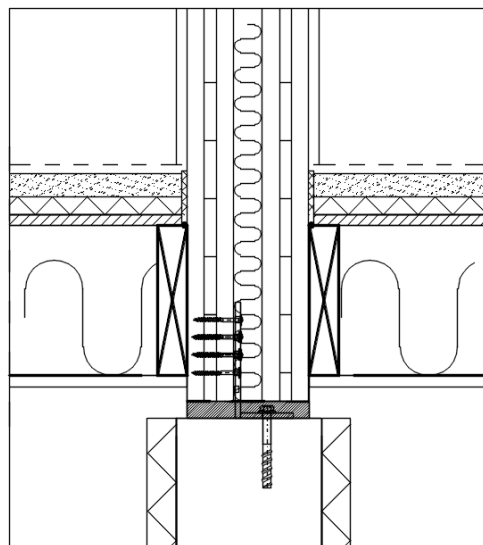
1. Jäykistävän seinän kiinnitys perustuksiin
2. Jäykistävien seinien liitoksen toisiinsa
3. Tilaelementtien vaakaliitokset.

Seinän kiinnitys perustuksiin hoidetaan yleisesti joko hitsattavalla tai pulttavalla teräsosalla. (kuva15)

Hitsattava liitos perustuksiin



Pultattava liitos perustuksiin

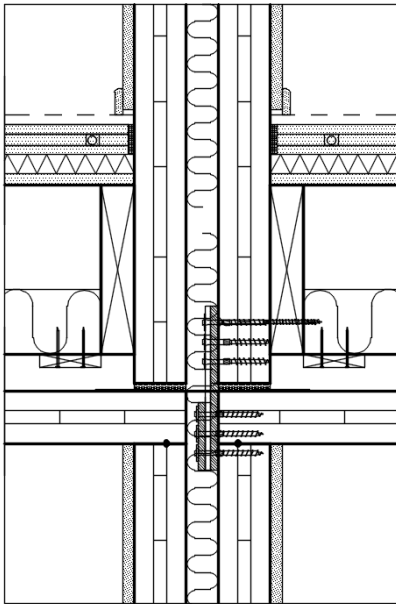


Kuva 15. Tilaelementtien liitokset perustuksiin (Matikainen, 2023)

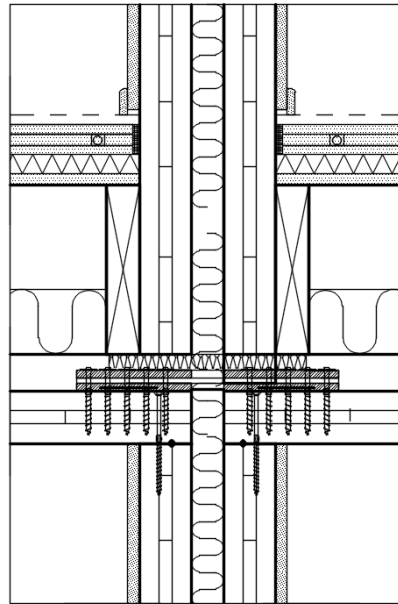
Tilaelementtien pystyliitokset (kuva 16) voidaan toteuttaa joko vaneri- tai teräsosilla. Teräsosiin voidaan helpommin toteuttaa painumisvaraksi tarkoitettua soikioreiää ja niiden pitkäaikaiskestävyys on varmempi kuin vanerilappujen. Periaate on molemmissa kuitenkin täysin sama.

Vaakaliitoksien (kuva 16) tarkoitus on siirtää vaakavoimat jäykistävälle seinälle.

Tilaelementin pystyliitos



Tilaelementin vaakaliitos



Kuva 16. Tyypilliset tilaelementtien pysty ja vaakaliitokset (Matikainen, 2023)

9 Yhdistetty nosto- ja jäykistysjärjestelmä

Yhdistetylle nosto-osalle ja jäykistysosalle kohdistuu molemmissa tarkoituksessa omanlaiset vaatimukset. Näiden vaatimusten kartoittaminen ja yhteensovittaminen toteutetaan tutkimusaineiston ja mallikohteen avulla.

9.1 Nosto-osan vaatimukset

Aluksi on todettava, onko tilaelementteihin kiinnitettävä osa virallisesti nostoapuvälineenä vai käsitelläkö sitä jotakin muuta kautta.

Koneasetuksessa todetaan seuraavasti:

”Nostoapuvälineellä tarkoitetaan komponenttia tai laitetta, jota ei ole kiinnitetty nostolaitteeseen ja jonka avulla kuormaan voidaan tarttua ja joka on sijoitettu koneen ja kuorman väliin tai kiinnitetty itse kuormaan tai joka on tarkoitettu kuorman kiinteäksi osaksi ja joka on saatettu markkinoille erillisesti; raksien ja niiden komponenttien katsotaan myös olevan nostoapuvälineitä.”

(Asetus koneiden turvallisuudesta 400/2008, 2008)

Näin ollen voidaan katsoa, että kyseessä on asetuksen mukaisesti nostoapuväline ja sitä koskevat asetuksen ja SFS-EN 13155:2020 standardin määräykset nostoapuvälineen osalta. Seuraavana esitetty tärkeimmät varmuuskertoimiin ja nosto-osan merkintään liittyvät määräykset.

Koneasetus:

Koneen, nostoapuvälineiden ja niiden komponenttien on kestävä niihin käytön aikana ja mahdollisesti myös, kun niitä ei käytetä, kohdistuvat kuormitukset, ennakoituissa asennus- ja toimintaolosuhteissa ja kaikissa asiaankuuluvissa kokoonpanoissa ottaen tarvittaessa huomioon ilmastolliset tekijät ja henkilöiden aiheuttamat voimat. Tämän vaatimuksen on täyttyvä myös kuljetuksen, kokoonpanon ja purkamisen aikana.

(Asetus koneiden turvallisuudesta 400/2008, 2008)

Kone ja nostoapuvälineet on suunniteltava ja rakennettava siten, että estetään materiaalin väsymisestä ja kulumisesta aiheutuvat vauriot ottaen huomioon niiden tarkoitettu käyttö.

Käytetyt materiaalit on valittava tarkoitettun käyttöympäristön mukaan ottaen erityisesti huomioon korroosio, kuluminen, iskut, äärimmäiset lämpötilat, väsyminen, hauraus ja vanheneminen.

Kone ja nostoapuvälineet on suunniteltava ja rakennettava kestämään staattisten kokeiden ylikuorma ilman pysyvää vauriota tai näkyvää vikaa. Lujuuslaskelmissa on otettava huomioon staattisen testin kertoimen arvot, jotka on valittu riittävän turvallisuustason varmistamiseksi. Yleensä kertoimille voidaan käyttää seuraavia arvoja:

a) käsikäyttöiset koneet ja nostoapuvälineet: 1,5

b) muut koneet: 1,25

SFS-EN 13155:2020:

Nostoapuvälineet, jotka on suunniteltu enintään 16 000 noston kuormitusjaksolle

– Kimmoinen tila: mekaaniset kuormaa kantavat osat on suunniteltava kestämään ilman pysyvää muodonmuutosta staattinen kuorma, joka on kaksi kertaa kuorma, joka niiden vaaditaan kestävän tarkoitetuissa käyttöolosuhteissa.

– Myötötila: mekaaniset kuormaa kantavat osat on suunniteltava kestämään staattinen kuorma, joka on kolme kertaa kuorma, joka niiden vaaditaan kestävän tarkoitetuissa käyttöolosuhteissa, ilman, että kuorma pääsee irti vaikka pysyvä muodonmuutos tapahtuisi.

Teräksen murtumisen estämiseksi seuraavia määritettyjä ominaiskestävyyden varmuuskertoimia tulee soveltaa:

– köysissä: $\gamma = 4,0$

– ketjuissa: $\gamma = 3,0$

– kiinteissä kappaleissa: $\gamma = 3,0$

Nostoankkurijärjestelmän koostuessa useasta teräksisestä osasta, todentaminen tulee suorittaa jokaiselle järjestelmän osalle erikseen käyttäen asiaankuuluvaa varmuuskerrointa, ja koko järjestelmän tulee yhdessä ylittää varmuuskerroin $\gamma = 3,0$.

Nostoapuvälineissä on oltava seuraavat yksityiskohtaiset tiedot:

- tiedot materiaalista, jos tätä tietoa tarvitaan turvallista käyttöä varten;
- suurin sallittu työkuorma.

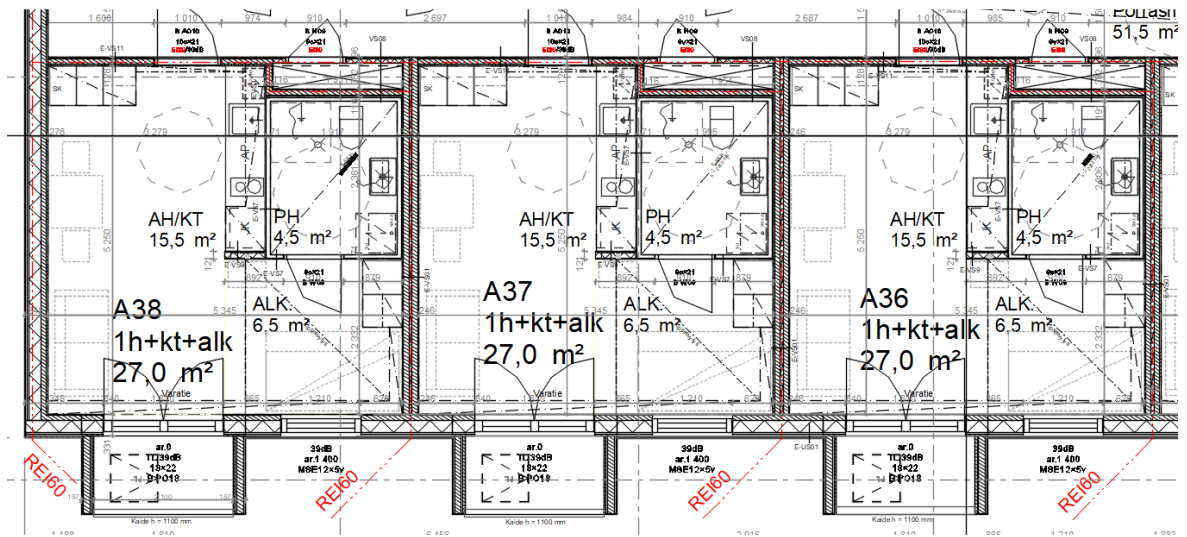
Jos nostoapuvälineisiin ei ole mahdollista tehdä merkintöjä, niihin on lujasti kiinnitettävä levy tai muu vastaava alusta, jossa ensimmäisessä kohdassa tarkoitetut tiedot annetaan.

Tietojen on oltava selkeästi luettavissa ja niiden on sijaittava paikassa, josta ne eivät katoa kulumisen vuoksi ja jossa ne eivät vaaranna nostoapuvälineen lujuutta. (Asetus koneiden turvallisuudesta 400/2008, 2008)

Koska standardi on tarkoitettu koskemaan siinä erikseen lueteltuja esivalmistettuja nosto-osia, voidaan tulkita, että koneasetuksen 1,5 varmuuskerroin on riittävä erikseen valmistettavalle nosto-osalle.

Tilaelementtiasennuksissa mitattujen tietojen perusteella elementit painavat noin 450 kg kerrosneliötä kohden. Kyseessä on tilaelementti missä on asennettuna märkätilaelementti sekä kiintokalusteet ja kodinkoneet. Porrashuone-elementit ja käytävät ovat kevyempiä, mutta mitoitus osille tehdään tässä työssä 450 kg/m² perusteella. Mallikohteessa (kuva 15) on valittu

mahdollisimman leveärunkoiset tilaelementit mitkä tuottavat suurimmat jäykistysvoimat.



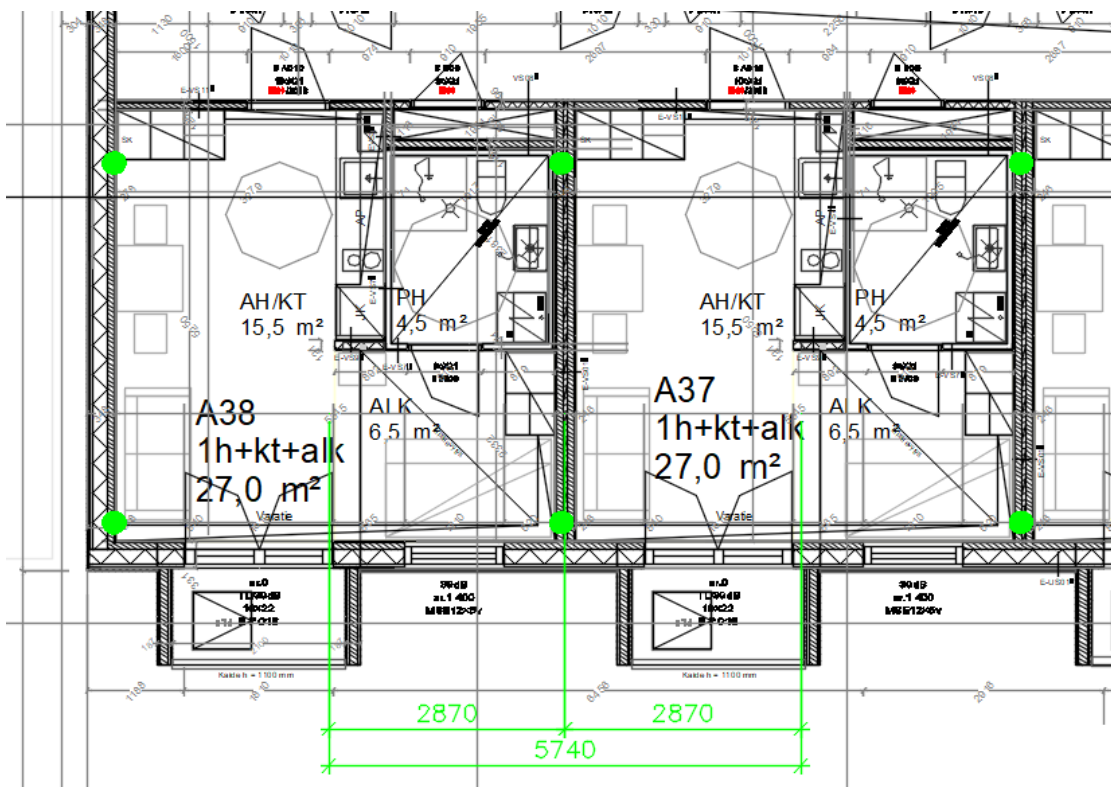
Kuva 17. Mallikohteen pohjapiirustusote (Matikainen, 2023)

Tilaelementtien maksimileveytenä voidaan pitää tuota noin 5,4 metriä (kuva 15) koska sen jälkeen elementtien kuljetukseen tulee lisää kustannuksia reilusti koska vaatimukset saattoautoille nousevat. Pituuden puolesta tilaelementtitehtailla on hieman erilaisia rajoitteita. Yleisesti elementtien pituus ei ylitä 8 metriä. Näillä raja-arvoilla tilaelementin maksimipinta on 5,4m x 8m eli 43,2 m². Maksimipaino siis tuolle elementille olisi 450 kg/m² x 43,2 m² = 19 440 kg. Neljästä pisteestä nostettaessa yhden nosto-osan todellinen kuorma on siis 4860 kg. Asetuksen mukaisesti nostoapuvälineelle pitää laskea 1,5-kertainen varmuus. Nosto-osa on siis mitoitettava 7290 kg eli 73 kN voimalle.

Nosto-käyttöä varten teräsosaan pitää myös suunnitella yläpäähän varaus nostolenkin kiinnitykseen.

9.2 Jäykistysosan vaatimukset

Tilaelementtikohteissa jäykistys tapahtuu yleisesti pitkällä huoneistojen vastaisilla väliseinillä (kuva 17). Nykyisissä jäykistysjärjestelmissä HVS seinillä ei saada jäykistysosat kuin toiseen moduuliin koska asennusvaiheessa moduulien väliin pääseminen on mahdotonta. Tässä tapauksessa niin tuulikuorma kerääntyy 5740 mm matkalta. Tässä työssä on tarkoituksena päästä tilanteeseen, jossa jokainen seinä voidaan käyttää hyödyksi jäykistykseen. Kuormituspituus siis puolittuu 2870 millimetriin. Tällä mitalla laskemme jäykistysosille tulevat maksikuormat mallipohjissa.



Kuva 18. Mallikohteen pohjapiirustusote (Matikainen, 2023)

Mallikohde on 6 kerroksinen ja sen kokonaiskorkeus on noin 21 metriä. Maastoluokkana pidetään luokka II eli avoin peltomaasto tai vastaava. Näillä lähtötiedoilla saadaan nopeuspaineen ominaisarvoksi $0,8 \text{ kN/m}^2$ mikä riittää valtaosaan kohteista. Rannikoilla sijaitsevat kohteet nousevat joko I tai O luokkaan ja niiden osalta tulee jäykistys tarkastella aina erikseen. (Puuinfo E, 2020)

Luokka	Maaston rosoisuuden ja pinnanmuodon kuvaus.
0	Avomeri tai merelle avoin rannikko.
I	Järvi tai alue, jolla on vähäistä kasvillisuutta eikä esteitä.
II	Alue, jolla on matalaa kasvillisuutta ja erillisiä puita tai rakennuksia, joiden etäisyys toisistaan on vähintään 20 kertaa esteen korkeus. Esim. maatalousmaa.
III	Esikaupunki- tai teollisuusalueet sekä metsät. Matalat pientaloalueet ja kylät.
IV	Yhtenäiset laajat kaupunkialueet, joiden pinta-alasta vähintään 15 % on rakennettu ja rakennusten keskimääräinen korkeus on yli 15 m.

Taulukko 2.2 - Maastoluokat.

Kuva 19. Maastoluokkien kuvaukset (Puuinfo E, 2020)

Rakennuksen kokonaistuulikuorma voidaan laskea kaavalla:

$$F_{v,k} = c_f q_p(h) A_{ref} \quad (\text{kaava 1})$$

c_f on rakenteen voimakerroin. Tässä tapauksessa 1,37

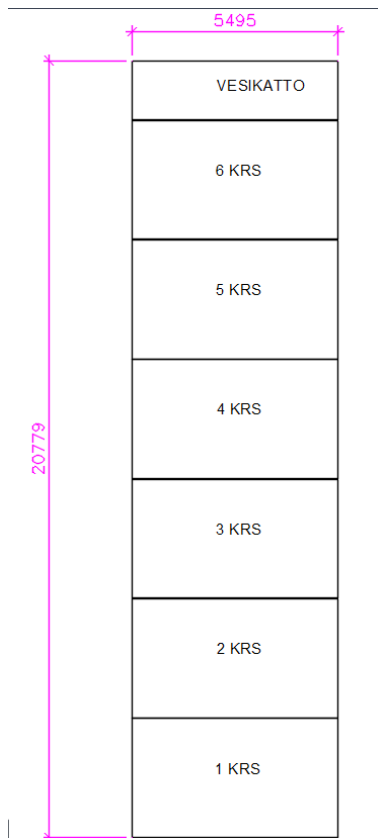
$q_p(h)$ on edellä määritetty rakennuksen korkeuden mukainen nopeuspaine

A_{ref} on rakenteen tuultavastainen projektipinta-ala.

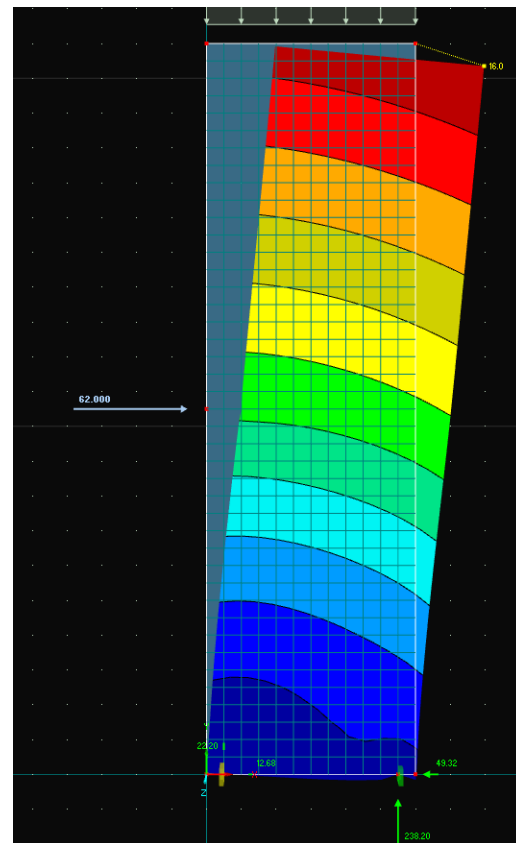
Tässä tapauksessa $2,7\text{m} \times 21\text{m} = 56,7 \text{ m}^2$

$F_{v,k} = 62 \text{ kN}$ (resultantti vaikuttaa projektipinnan painopisteessä eli korkeudella 10,5 m)

Jäykistysosien mitoituksessa otetaan myös huomioon rakenteiden oma paino eli 4,5 kN/m².



Kuva 21. Mallikohteen korkeus
(Matikainen, 2023)



Kuva 20. Mallikohteen ankkurointivoimat
(Matikainen, 2023)

Näillä lähtötiedoilla saadaan RFEM mitoituksessa maksimiankkurointivoimaksi 22,20 kN. (liite 1)

Tilaelementtien ankkuroinnissa toisiinsa tulee ottaa huomioon myös ääneneristys. Kun elementtejä kiinnitetään toisiinsa on ainakin toinen liitoskohta erotettava teräsosasta tärinäeristeellä. Yleisimmin käytetty ja testattu on 12 mm regufoam tai sylomer eristeet. Liitososan mitoituksen kannalta tämä on merkityksellistä koska tärinäeriste liitososien välissä heikentää ruuviliitoksen leikkauskapasiteettiä huomattavasti. Kirjoitushetkellä ei ole saatavissa vahvistettua laskentakaavaa kyseiselle pikkuliitokselle. Olemassa olevien testien Karelia amk, Rothoblaas, Tampereen Yliopisto perusteella voidaan kuitenkin olettaa, että leikkauslujuus putoaa 12 mm välikkeellä noin 40 % maksimikapasiteetista.

Eristettyä teräslevyliitosta verrattiin myös vastaavaan eristämättömään liitokseen. Tarkastellun eristetyn liitoksen leikkauskestävyys on noin 38 % pienempi ja jäykkyys noin 47 % pienempi kuin eristämättömän liitoksen. (Kovalainen, 2023)

Näin ollen liitoksen ruuvaus pitää mitoittaa 56 kN leikkausvoimalle.

Sivutiesiirtymät tulee ottaa huomioon teräsosan suunnittelussa. Runkoäänien johtuminen tilaelementtirungosta toiseen tulee estää teräsosan alle sijoitettavilla värinäeristellä.

Rakenteellinen sivutiesiirtymä syntyy, kun tilasta toiseen jatkuva rakennusosa kuljettaa ääntä (runkoääni) tilasta toiseen.

”Puurakenteisessa rakennuksessa rakenteelliset sivutiesiirtymät ovat suurempi haaste kuin betonirakennuksessa, koska:

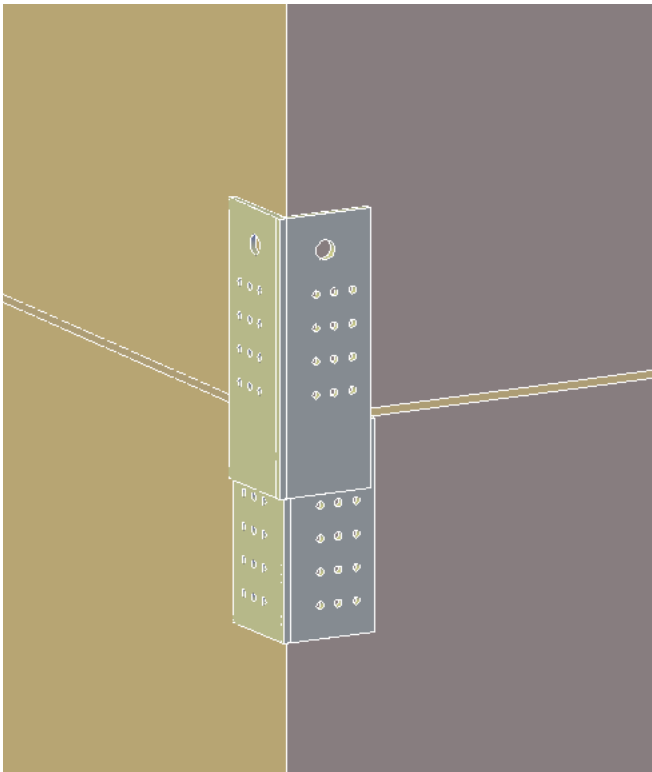
- Puurakenteissa ei voida hyödyntää rakennusosien massaa ja jäykkyyttä sivutiesiirtymien vähentämiseen.*
- Tarjolla olevien puurakenneratkaisujen määrä on suuri, joten sivutiesiirtymien näkökulmasta suunnitteluratkaisut ovat tapauskohtaisia.*
- Puurakenteiden liittymissä on enemmän rakenneosia, joten pienilläkin rakenneosien muutoksilla saattaa olla hyvin suuri merkitys sivutiesiirtymien vaikutukseen.”*

(Puuinfo F, 2021)

9.3 Yhdistetty nosto- ja jäykistysosa

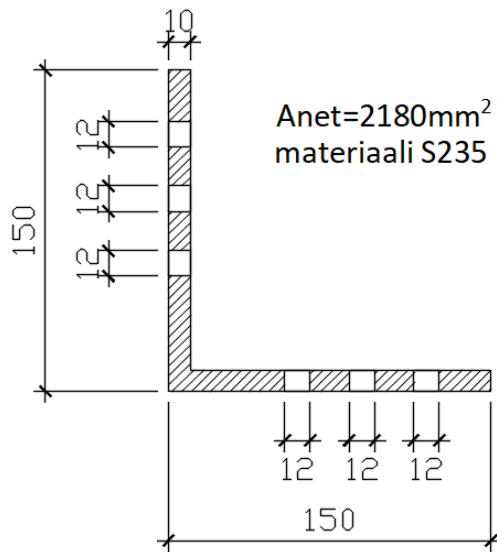
Yllä esitettyjen lähtökohtien mukaisesti nostokäytössä osan rasitus on 73 kN ja jäykistyksessä 56 kN. Voimat ovat niin lähellä toisiaan, että teräsosan ruuvaukset suunnitellaan tuon 73 kN maksimin mukaisesti sekä osan ylä- että alaosaan. Tavoitteena on myös saada teräsosasta sellainen, että nurkkaan sijoitettuna sen voidaan ruuvata joko tilaelementin pitkältä tai lyhyeltä sivulta ja saavuttaa maksimikapasiteetti (kuva22).

Laskelmassa käytetään Rothoblaas HBS Plate Evo ruuveja 10x100 koossa. Ruuvien laskennallinen leikkauskapasiteetti $R_{vd} = 6,2$ kN/ruuvi. Tämän perusteella teräsosaan (kuva12) pitää mitoittaa 12 reikää kiinnityksiä varten.



Kuva 22. Teräsosan 3D luonnos (Matikainen, 2023)

Teräsosan kestävyys kuormituksille pitää tarkastaa poikkileikkauksen vetolujuus reikien kohdalla sekä kulmien hitsaukset.

Poikkileikkauksen vetolujuus:

Kuva 23 teräsojan poikkileikkaus (Matikainen, 2023)

$$N_{uRd} = 0,9 \times F_u \times A_{net} / \gamma_{m2} \quad (\text{kaava2})$$

$$\gamma_{m2} = \max \left(1.1, : 0,9 \times \frac{f_u}{f_y} \right) \quad (\text{kaava3})$$

missä,

$$A_{net} = 2180 \text{ mm}^2$$

$$F_u = 360 \text{ Mpa}$$

$$F_y = 235 \text{ Mpa}$$

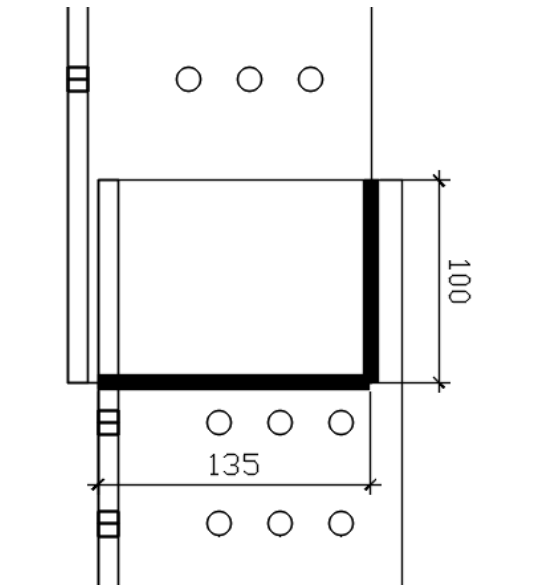
$$\gamma_{m2} = 1,38$$

$$N_{uRd} = 512 \text{ kN} > \text{OK}$$

Käyttöaste 13 %

Kulmaosien hitsiliitokset

Nosto-osan ylä- ja alaosan kulmateräkset on hitsattu yhteen symmetrisesti sekä vaaka- että pystysaumasta. Hitsin kokonaispituus kappaleessa on 470 mm (kuva 24).



Kuva 24. hitsien pituudet teräsosassa (Matikainen, 2023)

Pienahitsin kestävyys voidaan vaihtoehtoisesti laskea myös ns. yksinkertaistetulla menetelmällä. Tällöin hitsiin kohdistuvien voimien resultantin oletetaan aiheuttavan hitsin laskentapoikkipintaan aina pelkkää leikkausta riippumatta voimaresultantin ja hitsin todellisesta suunnasta (varmalla puolella oleva yksinkertaistus). Komponenttimenetelmän mitoitus ehdosta saadaan tällöin johdettua hitsin (leikkaus)lujuuden mitoitusarvolle seuraava kaava:

$$F_{vw,d} = \left[(F_u)^{1/\sqrt{3}} \right] / [\beta_w \gamma_{m2}] \quad (\text{kaava 4})$$

missä,

f_u = heikoimman liitettävän osan nimellinen murtolujuus

β_w = kyseeseen tuleva lujuuskerroin (taulukko 3.23)

γ_{m2} = kestävyuden osavarmuusluku

Taulukko 3.23 Hitsin lujuuskertoimet terästen eri lujuusluokille [8,9,10,16,17]

	Hitsin lujuuskertoimen β_w
S235	0,8
S275	0,85
S355	0,9
S420	1,0
S460	1,0
Lujuusluokkien S500 -S700 teräksille käytetään arvoa $\beta_w = 1,0$.	

Kuva 25. Hitsien lujuuskertoimet (Ruukki, 2010)

Taulukko 2.5 Kestävyyden osavarmuuslukuja [3...25]

Standardi	Tarkastelutilanne	Osavarmuus- luku	Osavarmuusluvun arvo	
			Eurocoden suositusarvo	Suomi
EN 1993-1-1:	Teräsrakenteiden yleiset säännöt:			
	Poikkileikkauksen kestävyys poikkileikkauks- luokasta riippumatta, mukaan lukien paikallinen lommahdus ja vinoutumisenurjhdus	γ_{M0}	1,0	1,0
	Sauvan kestävyys stabiiliuden suhteen, kun laskelmat tehdään sauvan tarkastuksena	γ_{M1}	1,0	1,0
	Nettopoikkileikkauksen kestävyys vetomurtumisen suhteen (reikien osuus vähennetty bruttopoikkileikkauksesta)	γ_{M2}	1,25	1,25
	Liitosten kestävyys	ks. EN 1993-1-8		
EN 1993-1-2:	Palomitoitus:			
	Kestävyys palomitoituksessa	$\gamma_{M,fi}$	1,0	1,0
EN 1993-1-5:	Levyrakenteet:			
	Osavarmuusluvut γ_{M0} ja γ_{M1} valitaan sovellettavan Eurocoden osan (EN 1993-1...EN 1993-6) mukaisesti			
EN 1993-1-8:	Liitokset:			
	Rakenneosien ja poikkileikkausten kestävyys	ks. EN 1993-1-1		
	Ruuvien kestävyys	γ_{M2}	1,25	1,25
	Niittien kestävyys			
	Niveltappien kestävyys			
	Hitsien kestävyys			
	Levyjen reunapuristuskestävyys			
	Liukumiskestävyys - murtorajatilassa (kiinnitysluokka C) - käyttörajatilassa (kiinnitysluokka B)	γ_{M3} $\gamma_{M3,ser}$	1,25 1,1	1,25 1,1
	Injektioruuvien reunapuristuskestävyys	γ_{M4}	1,0	1,0
	Rakenneputkien liitosten kestävyys ristikoissa	γ_{M5}	1,0	1,0
	Niveltappien kestävyys käyttörajatilassa	$\gamma_{M6,ser}$	1,0	1,0
	Korkealujuuksisten ruuvien esijännitys	γ_{M7}	1,1	1,1
EN 1993-1-9:	Väsyminen:			
	Vaurionsietoperiaate - vaurion seuraukset pienet - vaurion seuraukset suuret	γ_{Mf} γ_{Mf}	1,0 1,15	1,0 1,15
	Varman kestämissen periaate - vaurion seuraukset pienet - vaurion seuraukset suuret	γ_{Mf} γ_{Mf}	1,15 1,35	1,15 1,35
EN 1993-1-12:	Lisäsäännöt lujuusluokkien S500 - S700 teräksille:			
	Nettopoikkileikkauksen kestävyys vetomurtumisen suhteen (reikien osuus vähennetty bruttopoikkileikkauksesta)	γ_{M12}	1,25	$(f_u/f_y) \times \gamma_{M0}$
Tässä taulukossa on esitetty Eurocoden 3:n (EN 1993) taulukossa mainittujen osien ja kyseisten osien Suomen kansallisen liitteen mukaiset kestävyys osavarmuusluvut. Eurocode 3:n muissa osissa voidaan esittää muita arvoja kestävyys osavarmuusluuille. Kulloinkin tulee käyttää sovellettavan Eurocoden osan ja kyseeseen tulevan maan kansallisen liitteen mukaisia osavarmuuslukuja.				

Kuva 26. Kappaleiden osavarmuusluvut (Ruukki, 2010)

Hitsien kestävyys $F_{w,Rd}$ pituusyksikköä (mm) kohden on nosto-osan tapauksessa:

$a = 7 \text{ mm}$ (pienahitsit)

$f_u = 470 \text{ MPa}$

$B_w = 0,9$

$\gamma_{M2} = 1,25$

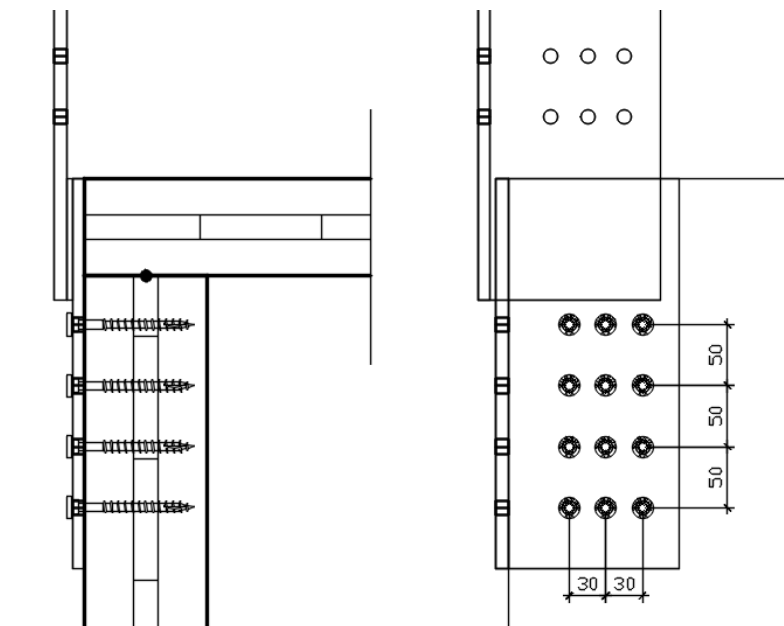
$$f_{v,wd} = 470 / (\sqrt{3}) / (0,9 * 1,25) = 241,2 \text{ N/mm}$$

$$F_{w,Rd} = f_{v,wd} * a = 241,2 * 7 = 1688 \text{ N} = 1,688 \text{ kN/mm}$$

$$\text{Hitsin kapasiteetti } 470\text{mm} * 1,688 \text{ kN/mm} = 793 \text{ kN} > \text{OK}$$

Käyttöaste 10 %

Ruuvauksen detajiiikka ja laskelmat



Kuva 27. Ruuvien sijoittelu teräsosassa (Matikainen, 2023)

Liitoksessa käytetään Rothoblaasin HBS EVO plate ruuveja mitkä on tarkoitettu teräslevyjen kiinnitykseen puurakenteisiin.

10x100 ruuvien ominaisleikkauksen kapasiteetti $R_{v,k} = 8,5 \text{ kN}$. (Rothoblaas B, 2023)

Laskentakapasiteetti $R_{v,d}$ saadaan kaavasta:

$$R_{v,d} = k_{mod} \left(\frac{R_{v,k}}{\gamma_m} \right) \quad (\text{kaava 5})$$

missä,

k_{mod} = muunnoskerroin jolla otetaan huomioon kuorman keston ja kosteuden vaikutus

$R_{v,k}$ = liittimen ominaisleikkauskapasiteetti

γ_m = materiaaliominaisuuden osavarmuusluku

Materiaali	Käyttöluokka	Kuorman aikaluokka		
		Pysyvä	Keskipitkä	Hetkellinen
Sahatavara, Pyöreä puutavara, Liimapuu, LVL, Vaneri, CLT	1	0,60	0,80	1,10
	2	0,60	0,80	1,10
	3	0,50	0,65	0,90
Lastulevy P4 ¹⁾ , OSB/2 ¹⁾ , Kova kuitulevy	1	0,30	0,65	1,10
	2	0,20	0,45	0,80
Lastulevy P6 ¹⁾ , OSB/3 ja OSB/4	1	0,40	0,70	1,10
	2	0,30	0,55	0,90
Puolikovat kuitulevyt: MBH.LA ¹⁾ , MBH.HLS, MDF.LA ¹⁾ ja MDF.HLS	1	0,20	0,60	1,10
	2	-	-	0,80

Taulukko 3.1 – Muunnoskerroimen k_{mod} arvot.

¹⁾ Saadaan käyttää vain käyttöluokassa 1

Kuva 28. Muunnoskerroimet (Puuinfo E, 2020)

geometry				SHEAR				TENSION				
				timber-to-timber $\varepsilon=90^\circ$	timber-to-timber $\varepsilon=0^\circ$	steel-to-timber thin plate	steel-to-timber thick plate	thread withdrawal $\varepsilon=90^\circ$	thread withdrawal $\varepsilon=0^\circ$	head pull-through		
d_1	L	b	A	$R_{V,k}$	$R_{V,k}$	S_{PLATE}	$R_{V,k}$	S_{PLATE}	$R_{V,k}$	$R_{ax,90,k}$	$R_{ax,0,k}$	$R_{head,k}$
[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[kN]	[kN]	[mm]	[kN]	[mm]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]
8	40	32	8	1,62	0,85	4	1,95	8	3,83	2,83	0,85	2,07
	60	52	8	1,62	1,35		3,03		5,00	4,85	1,45	2,07
	80	55	25	2,83	1,70		4,11		6,07	5,56	1,67	2,07
	100	75	25	2,83	2,13		5,20		6,78	7,58	2,27	2,07
	120	95	25	2,83	2,33		5,86		7,29	9,60	2,88	2,07
	140	110	30	2,93	2,42		6,24		7,67	11,11	3,33	2,07
	160	130	30	2,93	2,42		6,74		8,17	13,13	3,94	2,07
10	60	52	8	2,37	1,56	5	3,48	10	5,91	5,68	1,70	3,09
	80	60	20	3,16	2,07		4,75		7,37	7,58	2,27	3,09
	100	75	25	3,65	2,59		6,01		8,50	9,47	2,84	3,09
	120	95	25	3,65	3,01		7,28		9,14	12,00	3,60	3,09
	140	110	30	3,75	3,11		7,81		9,61	13,89	4,17	3,09
	160	130	30	3,75	3,11		8,44		10,24	16,42	4,92	3,09
	180	150	30	3,75	3,11		8,68		10,87	18,94	5,68	3,09
12	120	90	30	4,45	3,54	6	8,20	12	10,64	13,64	4,09	3,88
	140	110	30	4,45	3,70		9,28		11,40	16,67	5,00	3,88
	160	120	40	4,77	4,00		9,66		11,78	18,18	5,45	3,88
	180	140	40	4,77	4,00		10,23		12,54	21,21	6,36	3,88
	200	160	40	4,77	4,00		10,23		13,29	24,24	7,27	3,88

ε = screw-to-grain angle

Kuva 29. Ruuvien kapasiteetit (Rothoblaas B, 2023)

Perusyhdistelmät:	
Sahatavara ja pyöreä puutavara yleensä	1,3
Liimapuu, CLT	1,25
LVL, vaneri, OSB-levy	1,2
Muu lastulevy, kuitulevyt	1,3
Liitokset	1,3
Onnettomuusyhdistelmät	1,0

Taulukko 2.7 - Suomessa käytettävät materiaalien osavarmuusluvut γ_M

Kuva 30. Materiaalien osavarmuusluvut (Puuinfo E, 2020)

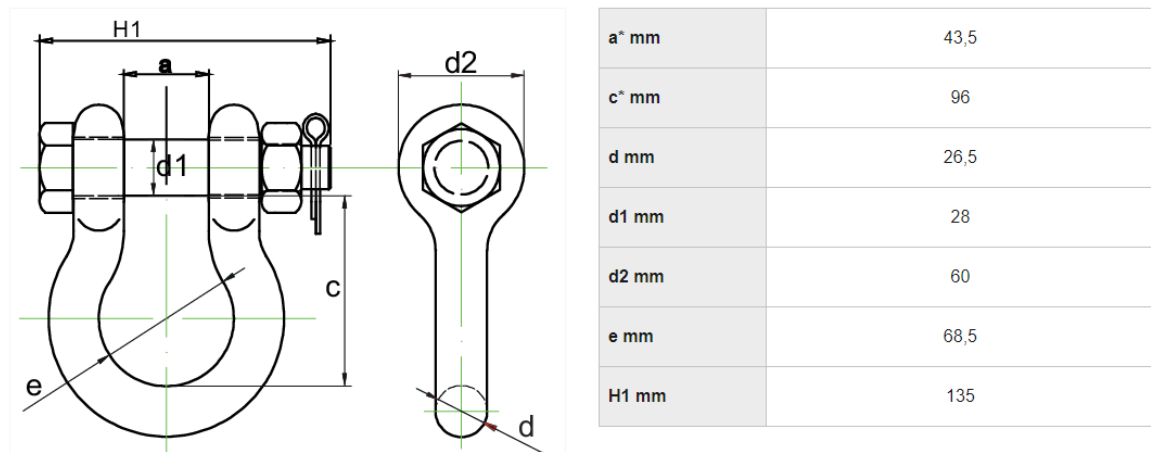
$$R_{v,d} = 1,1 (8,5/1,3) = 7,2 \text{ kN/liitin}$$

Liitososassa 12 ruuvia -> kokonaiskapasiteetti 86,4 kN

Nostolenkit

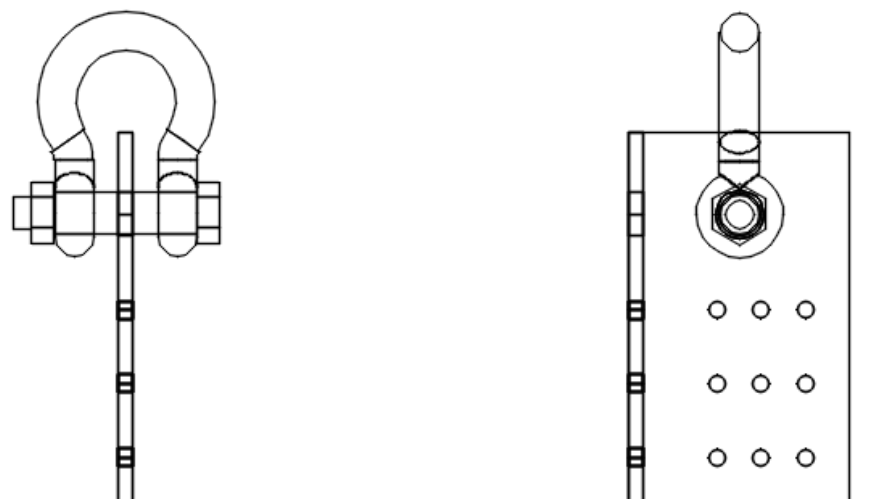
Noston osalta liittimeksi on valittu sakkeli sen luotettavuuden ja niiden suurten kapasiteettien vuoksi. Sakkelit ovat edullisia ja uudelleen käytettäviä. Tässä päädyttiin CERTEX sakkeliin millä työkuorma on 8,5 tonnia. Sakkelissa on myös varmistustappi mikä lisää noston turvallisuutta. (Certex, 2024)

Mittakuva - 11.31PBSB00850



Kuva 31. Sakkelin mittakuva (Certex, 2024)

Sakkeli asennetaan nosto-osan yläpään lenkistä (kuva 32).



Kuva 32. Sakkelin sovitus nosto-osaan (Matikainen, 2023)

10 Johtopäätökset ja kehitystarpeet

Puurakentamisen detajiiikkaan ja ratkaisuihin kaivataan sekä suunnittelun että työmaatoteutuksen puolesta yksinkertaistamista. Rakennuksen jäykistämiseen tulisi löytää yksinkertaisia ja selkeitä ratkaisuja mitkä olisivat helposti todennettavissa laskelmilla toimiviksi sekä tarkastaa työmaalla. Jäykistysjärjestelmiin ja tilaelementtiratkaisuihin on tehty viime vuosina paljon kehitys- ja selvitystyötä. Näiden perusteella tulisi tehdä rohkeita ratkaisuja työmaalle vietäviksi sovelluksiksi.

10.1 Asennus

Tilaelementtien asennuksessa edellisen tilaelementin päälle asennettavat tärinäeristeet tekevät asentamisesta tarkkaa eikä paikkaa voi hieroa eristeitä vasten. Asennusta varten on irrotettava yksi liitososa pois ja seuraava tilaelementti lasketaan paikalleen painaen elementtiä kolmea paikallaan olevaa rautaa vasten.

Liitososan ja rungon väliin tulee saada asennettua 12 mm tärinäeriste sivutiesiirtymän estämiseksi. Jatkossa tulisi selvittää voidaanko saavuttaa riittävä ääneneristystaso pienemmillä eristeillä ja voidaanko niitä liimata teräsosaan kiinni, jolloin asentaminen helpottuu.

10.2 Mitoitustaulukko eri kokoisille elementeille

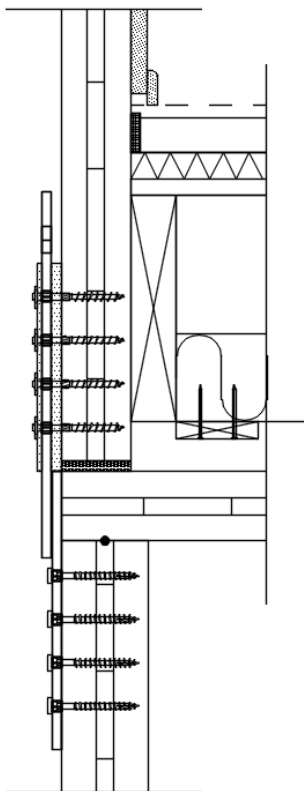
Nyt tutkittu osa on mitoitettu vain yhteen tapaukseen. Tällä voidaan toteuttaa valtaosa tilaelementtirakenteisista kohteista. Osa erikoisvarustelluista elementeistä ei mahdu painorajan sisään ja toisaalta on sellaisia elementtejä, joiden nostaminen nurkasta on mahdotonta. Tällaisia voivat olla esimerkiksi nurkkaparvekkeelliset elementit. Näitä varten tulisi suunnitella erillinen nosto-osa kokonaan tai lisäosa tähän liitettäväksi millä saataisiin tukipiste vietyä lattiarakenteisiin.

Jatkossa kustannuksien minimoimiseksi nosto-osasta tulisi tehdä ruuvaustaulukot eri painoisille elementeille. Vaikka yksittäisten ruuvien kustannukset ovat

asennuksineen suhteellisen pieniä ovat määrät kertautuessaan koko hankkeessa jo merkittäviä.

10.3 Tärinäeristeen ongelmat

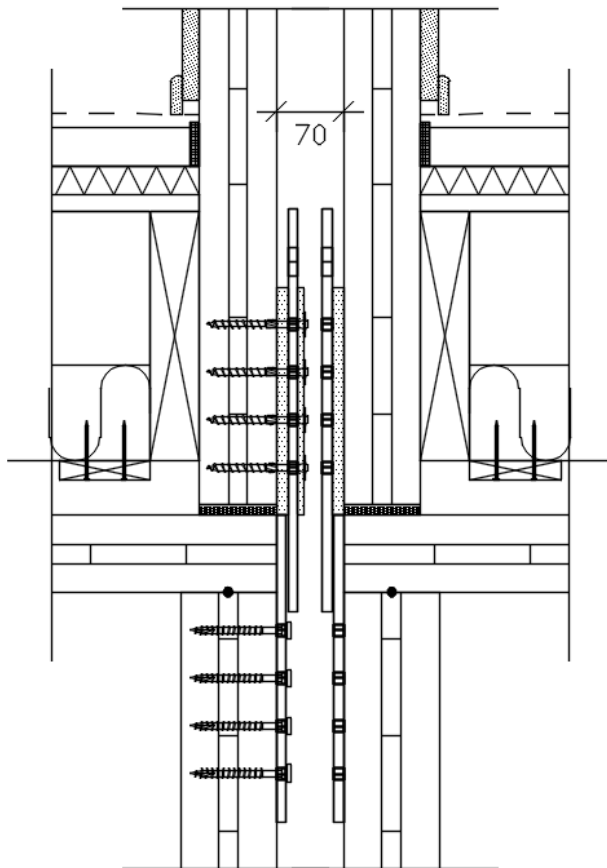
Lopputilanteessa teräsosan yläosan ja tilaelementin väliin pitää saada tärinäeriste kuten myös kiinnitysruuvien alle. Tällä estetään sivutiesiirtymä runkorakenteissa. Asennusvaiheessa kolmessa kiinnikkeessä voi olla tärinäeristeet paikallaan ja niitä vasten painetaan tilaelementti oikealle paikalleen. Viimeinen kiinnike pitää ruuvata uudelleen paikalleen (kuva 33) ja siinä vaiheessa asentaa myös ääneneristyskumit paikalleen.



Kuva 33. tärinäeristeen sijainti (Matikainen, 2023)

10.4 HVS asennusvälin ahtaus

Nykyisissä hankkeissa missä jäykistysosat ja nosto-osat ovat erikseen niiden sijainnit voidaan suunnitella niin että ne eivät tule vierekkäisissä elementeissä vastakkain. Tässä esityksen mukaisessa järjestelmässä osat ovat aina vastakkain ja tilaelementtien välinen varaus on ahdas, yleisesti vain noin 50 mm. Tilaelementtien välistä varausta olisikin kasvatettava tässä tapauksessa 70 millimetriin.



Kuva 34. Tilaelementtien asennusrako (Matikainen, 2023)

11 Pohdinta

Tutkimuksen tavoitteena oli tutkia olemassa olevat määräykset ja ratkaisut tilaelementtien nosto-osille sekä hahmotella ratkaisu missä nosto-osaa voidaan hyödyntää myös jäykistyksessä. Yhdistelmäosalle on tutkimuksen perusteella selvästi löydettävissä ratkaisuja, jotka voisivat tehostaa tilaelementtipuurakentamista. Vakioidulla nosto-osalla olisi saatavissa rakennuksien kokonaisjäykistykseen varmuutta. Nostojen osalta vakioidulla ratkaisulla voitaisiin tehostaa suunnittelua sekä saada nosto-osien kustannuksia pienemmäksi.

Kirjallisuuskatsauksen pohjalta on todettava, että tutkimuksia Suomessa sekä maailmalla on kovin vähän. Suomessa tilaelementtituotanto on kehitysvaiheessa ja uusia ratkaisuja tuodaan toimintaan jatkuvasti mukaan. Haasteet ovat siis olleet ainakin tähän saakka suurempia kuin ratkaista nosto-osien kustannuksia. Nosto-osat ovat kuuluneet käytännössä aina tilaelementtitoimittajan suunnitteluun ja vastuulle. Jäykistys taas ratkaistaan suunnitteluvaiheessa rakennesuunnittelijan toimesta. Jos tilaelementtitoimittajalla olisi vahva ja toimivaksi laskemilla ja käytännössä todennettu ratkaisu ottaisi rakennesuunnittelu sen varmasti käyttöön.

Kirjallisuuskatsauksesta voidaan todeta myös, että CLT runkoisia tilaelementtejä ei maailmalla juurikaan tuoteta. Tilaelementtirakentaminen on pääasiassa rankarakenteista. Näiden elementtien nostaminen tapahtuu useimmiten runkoon upotettujen nostoliinoiden avulla tai kevyemmällä nosto-osilla. Tasoelementti CLT-rakentamisen nostot taas toteutetaan elementin ylälaitaan kiinnitettävillä nosto-osilla kuten Suomessakin.

Tutkimuskysymykset ja niiden pohdinta:

- Mitkä ovat nosto-osien lakisääteiset vaatimukset?

Vakioidut nosto-osat ovat tarkkaan säänneltyjä. Niiden lujuusominaisuuksista, mitoituksista, testaamisesta ja merkkauksesta on tarkat ohjeistukset. Tilaelementtinostoissa käytettävät nosto-osat ovat olleet pitkälti projektikohtaisia ja niiden mitoituksen lähtökohdat ovat olleet monin paikoin epäselviä. Työmaan nostosuunnitelmissa määritellään usein kaikki nostoapuvälineet X-lift-puomista koukkuihin muttei näitä kriittisiä nosto-osia mitkä liittyvät itse nostettavaan elementtiin. Jatkossa olisi tärkeää, että liitososa koetaan osana nostoapuvälineitä, merkataan ja tarkastetaan sen mukaisesti.

Koneasetuksessa (Asetus koneiden turvallisuudesta 400/2008, 2008) annetaan määräykset nosto-osan merkinnöille. Käytännössä nämä asetuksen vaatimat merkinnät puuttuvat kaikista (pl. nostoliinat) tilaelementtikohteissa käytettävistä nosto-osista.

- Miten nosto-osa määritellään?

Nosto-osan määrittämisessä koneasetus on yksiselitteinen. Nostoapuvälineeksi luetaan nostossa käytettävä osa, joka ei ole kiinteä osa nostolaitetta. Nostoapuväline voi olla irrotettava tai kiinteä osa nostettavaa kappaletta. Tämän johdosta nosto-osaa koskevat kaikki asetuksen säädökset.

- Miten nosto-osa määritellään osana rakennetta?

Tämä on selkeästi kysymys mihin ei löytynyt yksiselitteistä vastausta määräyksistä tai muusta aineistosta. Nosto-osan osalta tulee käyttää 1,5 varmuuskerrointa. Kun nosto-osa kiinnitetään esimerkiksi CLT rakenteeseen voi tietyissä erikoistapauksessa syntyä tilaelementtiin rasituksia, jotka olisi hyvä mitoittaa myös 1,5 varmuuskertoimella. Esimerkiksi tietyissä parvekkeellisissa elementeissä on käytettävä noston aikaisia lisätukia.

- **Mitkä ovat tilaelementtirakenteisen kohteen jäykistysmenetelmät?**

Tällä hetkellä tilaelementtikohteiden jäykistyksessä käytetään poikkeuksetta menetelmää missä joka toinen levyseinä jäykistää rakennusta. Puurakennusten jäykistämiseen on liittynyt epäselvyyksiä mitkä ovat tuoneet alalle haitallista näkyvyyttä. Puurakentamisen tulevaisuuden kannalta olisi hyvä, että pystyisimme yksinkertaistamaan rakenteita ja suunnitelmia. Tilaelementtien kokonaisjäykkyyttä ei nyt saada käytettyä hyödyksi ja lisätutkimuksille olisi vielä aihetta. Jo jokaisen seinän kapasiteetin käyttöönotto puolittaa rasitukset liitososissa ja jäykistävässä seinissä. Näiden lisäksi olisi hyvä pohtia laajemmin hybridiratkaisuja esimerkiksi betonirakenteisten porras- ja hissikuilujen osalta.

- **Mitkä ovat asennustekniset vaatimukset yhdistetylle nosto- ja jäykistysosalle?**

Työmaakeskusteluiden pohjalta asennuksessa tärkeintä on, että tilaelementti voidaan tuoda asennuksessa hieman sivulta, jolloin voidaan asennusrautojen avulla tehdä lopullinen kohdistus paikalleen. Tässä ei juurikaan nähty ongelmia suunnitellun osan kannalta. Jatkossa olisi mahdollista pohtia saisiko osaan integroitua jonkinlaisen ohjurin millä elementti pakotetaan putoamaan täsmälleen haluttuun paikkaan.

Työn tarkoituksena on ollut etsiä rajamääritykset nosto-osalle sekä hahmotella uutta vaihtoehtoa erillisten nosto- ja jäykistysosien tilalle. Kokonaisuus on todella laaja ja tutkimuksia voisi tehdä erikseen nosto-osan optimoinnin, akustiikan kuin asennettavuudenkin osalta. Puurakentaminen kaipaa uusia rohkeita ratkaisuja ja ideoita. Tiedon kokoamista yhteen tulisi jatkaa, jolloin myös alan toimijat voisivat hyödyntää tutkimuksia omassa toiminnassa. Nostojen ja jäykistämisen osalta on sellaista tutkimustietoa ja kirjallisuutta saatavilla, että näiden avulla on saavutettavissa ratkaisut mitkä voidaan hyväksyä laajalti koko toimialalla.

12 Viittaukset

- Asetus koneiden turvallisuudesta 400/2008. (2008). Valtioneuvoston asetus koneiden turvallisuudesta. Haettu 15. 11 2023 osoitteesta <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2008/20080400>
- Asetus rakennustyön turvallisuudesta 205/2009. (2009). Valtioneuvoston asetus rakennustyön turvallisuudesta. Haettu 15. 1 2024 osoitteesta <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2009/20090205>
- Betoniteollisuus ry. (2010). Jäykistysjärjestelmät. Betoniteollisuus ry. Haettu 15. 1 2024 osoitteesta [file:///C:/Users/User/Downloads/J%C3%A4ykistysj%C3%A4rjestelm%C3%A4t%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/User/Downloads/J%C3%A4ykistysj%C3%A4rjestelm%C3%A4t%20(1).pdf)
- Certex. (2024). Sakkeli heavy duty. Haettu 15. 1 2024 osoitteesta <https://www.certex.fi/tuotteet/kettingit-ja-komponentit/komponentit/sakkelit/sakkeli-heavy-duty-p107695>
- Forsell. (2015). Johdanto tieteelliseen kirjoittamiseen. Centria Ammattikorkeakoulu.
- Gipperth, E. (2020). Stabilisation of higher wooden houses in volume building technology. Lund: Lund University.
- Grant, M.;& Booth, A. (2009). A typology of reviews. Salford: University of Salford.
- Hyttinen, J. (2020). Moduulirakentamisen logistiikka ja asennus. Joensuu: opinnäytetyö, Karelia Ammattikorkeakoulu. Noudettu osoitteesta https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/333687/Hyttinen_Janne_2020_03_11.pdf;jsessionid=9CF4FD98AD56C4F6DB149953AF7401C6?sequence=2
- Inkeroinen. (2021). CLT-tilaelementtirunkoisen puukerrostalon liitosten laadunvarmistus. Jyväskylä: opinnäytetyö, Jyväskylän Ammattikorkeakoulu. Noudettu osoitteesta <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2021052110262>
- Jenson, L. M. (2011). Doing your literature review. London: Aston University.
- Junttila, J. (2015). Kitkaliitos puun ja tärinäeristimen välillä. Tampere: Diplomityö, Tampereen yliopisto. Noudettu osoitteesta <https://finna.fi/Record/tuni.992541975305973>
- Koppelhuber. (2020). Building services in timber construction – Investigation on difficulties and reliefs during the installation procedures in multi-storey timber residential buildings. Graz: Graz University of Technology.
- Koskimies, J. (2022). Inter-module connections in multi-storey modular timber buildings. Helsinki: Aalto Yliopisto, Master thesis. Noudettu osoitteesta <https://aaltodoc.aalto.fi/server/api/core/bitstreams/b14ed8f0-d3f1-4153-b11d-44f52ac37673/content>
- Kotrbaty, L. (2020). Analysis of lateral load transfer from intermediate floor to shear walls in multi-story timber modular buildings. Helsinki: Master thesis, Aalto University.

- Kovalainen, I. (2023). CLT-rakenteiden liitostekniikka. Tampere: Diplomityö, Tampereen Yliopisto. Noudettu osoitteesta <https://trepo.tuni.fi/bitstream/handle/10024/151897/Kovalainenlina.pdf?sequence=2>
- Kuai;Ormarsson;& Vessby. (2024). Numerical and experimental investigations of prefabricated light-frame timber modules. Karlstad, Sweden: Karlstad University.
- Lehtonen, D. (2022). Tilaelementeistä kootun puukerrostalon jäykistäminen. Tampere: Diplomityö, Tampereen Yliopisto. Noudettu osoitteesta <https://urn.fi/URN:NBN:fi:tuni-202205215153>
- Matikainen, A. (2023).
- McCombes, S. (2019). Descriptive Research. Haettu 15. 1 2024 osoitteesta <https://www.scribbr.com/methodology/descriptive-research/>
- Miedzialowski;Czech;& Nazarczuk. (2023). Stiffness of Experimentally Tested Horizontally Loaded Walls and Timber-Framed Modular Building. Bialystok, Poland: Bialystok University of Technology.
- Najjar, A. (2022). Modular multi-storey construction with cross-laminated timber. Linnaeus: Linnaeus University. Noudettu osoitteesta <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/17480272.2022.2053204>
- Puuinfo A. (2023). Suomessa toteutetut puukerrostalot. Haettu 11. 12 2023 osoitteesta <https://puuinfo.fi/arkkitehtuuri/asuinkerrostalot/suomessa-toteutetut-puukerrostalot/>
- Puuinfo B. (2020). Puukerrostalot. Haettu 20. 12 2023 osoitteesta <https://puuinfo.fi/rakenteet/yhdistelmarakenteet/suunnittelu/>
- Puuinfo C. (2020). Rakennusosat tilaelementti. Haettu 16. 11 2023 osoitteesta <https://puuinfo.fi/tuotteet/elementit-rakennusosat/elementti-sampo-tilaelementti/>
- Puuinfo D. (2020). insinöörituotteet. Haettu 11. 10 2023 osoitteesta <https://puuinfo.fi/puutieto/insinoorituotteet/monikerroslevy-clt/>
- Puuinfo E. (2020). Lyhennetty suunnitteluohje. Haettu 15. 1 2024 osoitteesta <https://puuinfo.fi/wp-content/uploads/2020/07/Eurokoodi-5-Lyhennetty-suunnitteluohje-5.-PAINOS-2020-P%C3%84IVITYS-22.7.-web.pdf>
- Puuinfo F. (2021). ääneneristys Puutalossa. Haettu 15. 1 2024 osoitteesta https://puuinfo.fi/wp-content/uploads/2021/05/Aanikirja_kokonainen-1.pdf
- Rakennustarkastusyhdistys. (14.1.2024. 9 2020). Rakenteiden suunnittelun ja toteutuksen perusteet -asiakirjamalli. Haettu 14. 1 2024 osoitteesta <https://toptenrava.fi/tulkintakortti/rakenteiden-suunnittelun-ja-toteutuksen-perusteet-asiakirjamalli/>
- RIL. (2013). RIL 248-2013. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.

- Rothoblaas. (2023). X-Rad connections. Haettu 20. 1 2024 osoitteesta <https://www.rothoblaas.com/products/fastening/brackets-and-plates/x-rad/x-rad>
- Rothoblaas B. (2023). HBS Evo plate technical data. Haettu 15. 1. 2024 osoitteesta <https://www.rothoblaas.com/products/fastening/screws/screws-carpentry/hbs-plate-evo#technical-data-0>
- Ruukki. (2010). Hitsatut profiilit EN 1993. Rautaruukki Oyj. Noudettu osoitteesta <https://dokumen.tips/documents/ruukki-hitsatut-profiilit-ksikirja-andguidesruukki-hitsatut-profiilit-hitsatut.html?page=1>
- Saari. (2022). CLT-tilaelementtikerrostalon työmaatekniikka. Tampere: Opinnäytetyö, Tampereen Ammattikorkeakoulu. Noudettu osoitteesta <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-202205036998>
- Salminen. (2011). Mikä kirjallisuuskatsaus? johdatus kirjallisuuskatsauksen tyypeihin. Vaasa: Vaasan yliopisto.
- Stora Enso. (2016). 3-8 Storey Modular Element Buildings. Haettu 15. 1. 2024 osoitteesta <https://www.storaenso.com/-/media/Documents/Download-center/Documents/Product-brochures/Wood-products/Design-Manual-A4-Modular-element-buildings20161227finalversion-40EN.pdf>
- Talonrakennusteollisuus ry. (2014). Puuelementtirakentaminen, Tilaelementit Ratu 0425.
- Tervonen, J. (2022). FEM-laskennan hyödyntäminen puisen tilaelementtikerrostalon stabiliteetin laskennassa. Oulu: Diplomityö, Oulun yliopisto. Noudettu osoitteesta <https://urn.fi/URN:NBN:fi:oulu-202206213108>
- Tolppanen, J.;Karjalainen, M.;Lahtela, T.;& Viljakainen, M. (2013). Suomalainen puukerrostalo — Rakenteet, suunnittelu ja rakentaminen. Opetushallitus.
- Walliman, N. (2021). Research Methods: The Basics. Oxford: Oxford Brookes University.

Kuvaluettelo

Kuva 1 Puukerrostalojen valmistuneet 1997-2023 (Puuinfo, Suomessa toteutetut puukerrostalot, 2023).....	1
Kuva 2 Kirjallisuuskatsauksen eteneminen Flinckin mukaan (Salminen, 2011)	13
Kuva 3 Toteutuneiden puukerrostalojen kerrosmäärät (Puuinfo, Suomessa toteutetut puukerrostalot, 2023).....	18
Kuva 4 CLT rakenteinen ulkoseinä	21
Kuva 5 CLT rakenteinen väliseinä.....	22
Kuva 6 Tilaelementin välipohjarakenne	22
Kuva 7 NR-ristikkorakenteinen yläpohja	23
Kuva 8 Tilaelementti rakenteisen puukerrostalon mallipohjapiirustus	24
Kuva 9 Liinoilla suoritettava tilaelementin nosto (Puuinfo, Puukerrostalot, 2020) .	27
Kuva 10 Kierretangoilla suoritettu tilaelementtinosto (Puuinfo, Puukerrostalot, 2020).....	28
Kuva 11 Ruuvattavilla nosto-osilla suoritettu tilaelementtinosto (Puuinfo, Puukerrostalot, 2020)	29
Kuva 12 Rothoblaas X-RAD kiinnitys- ja nosto-osa (Rothoblaas, X-Rad connections, 2023).....	30
Kuva 13 Tilaelementin nosto X-RAD osalla. (Rothoblaas, X-Rad connections, 2023).....	31
Kuva 14 Puukerrostalon mahdolliset muodonmuutokset (Lehtonen, 2022)	35
Kuva 15 Tilaelementtien liitokset perustuksiin.....	36
Kuva 16 Tyypilliset tilaelementtien pysty ja vaakaliitokset.....	37
Kuva 17 Mallikohteen pohjapiirustusote	41
Kuva 18 Mallikohteen pohjapiirustusote	42
Kuva 19 Maastoluokkien kuvaukset (Puuinfo, Lyhennetty suunnitteluohje, 2020)	43
Kuva 20 Mallikohteen ankkurointivoimat.....	44
Kuva 21 Mallikohteen korkeus	44
Kuva 22 Teräsosan 3D luonnos	46
Kuva 23 teräsosan poikkileikkaus	47
Kuva 24 hitsien pituudet teräsosassa	48
Kuva 25 Hitsien lujuuskertoimet (Ruukki, 2010).....	49
Kuva 26 Kappaleiden osavarmuusluvut (Ruukki, 2010).....	50
Kuva 27 Ruuvien sijoittelu teräsosassa	51
Kuva 28 Muunnoskertoimet (Puuinfo, Lyhennetty suunnitteluohje, 2020)	52
Kuva 29 Ruuvien kapasiteetit (Rothoblaas, HBS Evo plate technical data, 2023) 53	
Kuva 30 Materiaalien osavarmuusluvut.....	53
Kuva 31 Sakkelin mittakuva (Certex, 2024).....	54
Kuva 32 Sakkelin sovitin nosto-osaan	54
Kuva 33 tärinäeristeen sijainti.....	56
Kuva 34 Tilaelementtien asennusrako	57



Timber Bros Oy
Länsikatu 15, 80110 JOENSUU
Telefon: +35 8409 6465 02

Page: 1/7
Sheet: 1

Project: Oppari 11 Model: Jäykistys Date: 25.3.2024

STRUCTURAL ANALYSIS

PROJECT

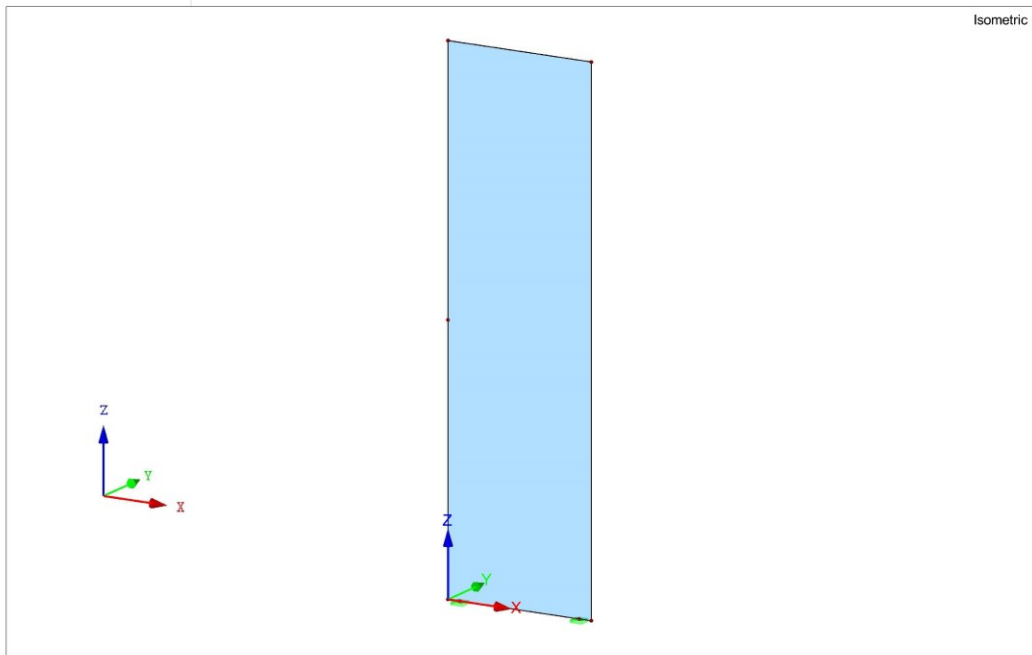
Mallikohde, Yhdistetty jäykistys- ja nosto-osa

CLIENT

Timber Bros Oy

CREATED BY

Antti Matikainen





Timber Bros Oy
Länsikatu 15, 80110 JOENSUU
Telefon: +35 8409 6465 02

Page: 2/7
Sheet: 1

MODEL

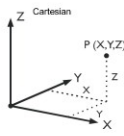
Project: Oppari Model: Jäykistys Date: 25.3.2024

MODEL - GENERAL DATA

General	Model name	: Jäykistys
	Project name	: Oppari
	Project description	: 11
	Type of model	: 3D
	Positive direction of global axis Z	: Upward
	Classification of load cases and combinations	: According to Standard: EN 1990 + EN 1995 (Wood) National Annex: SFS - Finland
Options	<input type="checkbox"/> RF-FORM-FINDING - Find initial equilibrium shapes of membrane and cable structures	
	<input type="checkbox"/> RF-CUTTING-PATTERN	
	<input type="checkbox"/> Piping analysis	
	<input type="checkbox"/> Use CQC Rule	
	<input type="checkbox"/> Enable CAD/BIM model	
	Standard Gravity	: 10.00 m/s ²

FE MESH SETTINGS

General	Target length of finite elements	l_{FE}	: 0.500 m
	Maximum distance between a node and a line to integrate it into the line	ϵ	: 0.001 m
	Maximum number of mesh nodes (in thousands)		: 500
Members	Number of divisions of members with cable, elastic foundation, taper, or plastic characteristic		: 10
	<input checked="" type="checkbox"/> Activate member divisions for large deformation or post-critical analysis		
	<input checked="" type="checkbox"/> Use division for members with node lying on them		
Surfaces	Maximum ratio of FE rectangle diagonals	Δ_D	: 1.800
	Maximum out-of-plane inclination of two finite elements	α	: 0.50 °
	Shape direction of finite elements		: <input type="checkbox"/> Triangles and quadrangles <input checked="" type="checkbox"/> Same squares where possible



1.1 NODES

Node No.	Node Type	Reference Node	Coordinate System	Node Coordinates			Comment
				X [m]	Y [m]	Z [m]	
1	Standard	-	Cartesian	0.000	0.000	0.000	
2	Standard	-	Cartesian	0.000	0.000	21.000	
3	Standard	-	Cartesian	6.000	0.000	21.000	
4	Standard	-	Cartesian	6.000	0.000	0.000	
5	Standard	-	Cartesian	0.500	0.000	0.000	
6	Standard	-	Cartesian	5.500	0.000	0.000	
7	Standard	-	Cartesian	0.000	0.000	10.500	

1.2 LINES

Line No.	Line Type	Nodes No.	Line Length L [m]		Comment
1	Polyline	1,2	21.000	Z	
2	Polyline	2,3	6.000	X	
3	Polyline	3,4	21.000	Z	
4	Polyline	1,5	0.500	X	
5	Polyline	4,6	0.500	X	
6	Polyline	6,5	5.000	X	

1.3 MATERIALS

Matl. No.	Modulus E [kN/cm ²]	Modulus G [kN/cm ²]	Poisson's Ratio ν [-]	Spec. Weight γ [kN/m ³]	Coeff. of Th. Exp. α [1/°C]	Partial Factor γ_M [-]	Material Model
1	Concrete C30/37 2830.00	DIN 1045-1:2008-08 1179.17	0.200	25.00	1.00E-05	1.00	Isotropic Linear Elastic
2	Steel S 235 21000.00	DIN EN 1993-1-1:2010-12 8076.92	0.300	78.50	1.20E-05	1.00	Isotropic Linear Elastic
3	RF-LAMINATE 1	Composition 1		4.20	5.00E-06		
Created by RF-LAMINATE module							

1.4 SURFACES

Surface No.	Surface Type Geometry	Surface Type Stiffness	Boundary Lines No.	Matl. No.	Thickness Type	Thickness d [mm]	Area A [m ²]	Weight W [kg]
1	Plane	Laminate	4,6,5,3-1	3	Constant	80.0	126.000	4233.60



Timber Bros Oy
 Länsikatu 15, 80110 JOENSUU
 Telefon: +35 8409 6465 02

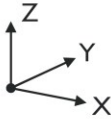
Page: 3/7
 Sheet: 1

Project: Oppari 11 Model: Jäykistys Date: 25.3.2024

1.4.2 SURFACES - INTEGRATED OBJECTS

Surface No.	Nodes	Integrated Objects No. Lines	Openings	Comment
1	7			

1.7 NODAL SUPPORTS



Support No.	Nodes No.	Axis System	Column in Z	u _x	u _y	u _z	ϕ _x	ϕ _y	ϕ _z
1	5,6	Global X,Y,Z	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

2.1 LOAD CASES

Load Case	Load Case Description	Action Category	Active	Self-Weight - Factor in Direction			EN 1990 + 1995 FIN Load Duration
				X	Y	Z	
LC1		Wind	<input checked="" type="checkbox"/>	0.000	0.000	0.000	Medium-term

2.1.1 LOAD CASES - CALCULATION PARAMETERS

Load Case	Load Case Description	Calculation Parameters
LC1		Method of analysis : <input checked="" type="checkbox"/> Geometrically linear analysis Method for solving system of nonlinear algebraic equations : <input checked="" type="checkbox"/> Newton-Raphson Activate stiffness factors of: <input checked="" type="checkbox"/> Cross-sections (factor for J, I _y , I _z , A, A _y , A _z) <input checked="" type="checkbox"/> Members (factor for GJ, E _I , E _I , EA, GA _y , GA _z)

3.1 NODAL LOADS - BY COMPONENTS - COORDINATE SYSTEM

LC1

LC1

No.	On Nodes No.	Coordinate System	Force [kN]			Moment [kNm]		
			P _x / P _U	P _y / P _V	P _z / P _W	M _x / M _U	M _y / M _V	M _z / M _W
1	7	0 Global XYZ	62.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

3.3 LINE LOADS

LC1

No.	Reference to Lines	On Lines No.	Load Type	Load Distribution	Load Direction	Symbol	Load Parameters	
							Value	Unit
1	Lines	2	Force	Uniform	ZL	p	-36.000	kN/m



Timber Bros Oy
Länsikatu 15, 80110 JOENSUU
Telefon: +35 8409 6465 02

Page: 4/7
Sheet: 1

RESULTS

Project: Oppari Model: Jäykistys
11

Date: 25.3.2024

■ 4.0 RESULTS - SUMMARY

Description	Value	Unit	Comment
Load Case LC1			
Sum of loads in X	62.00	kN	
Sum of support reactions in X	62.00	kN	Deviation 0.00%
Sum of loads in Y	0.00	kN	
Sum of support reactions in Y	0.00	kN	
Sum of loads in Z	-216.00	kN	
Sum of support reactions in Z	-216.00	kN	Deviation 0.00%
Resultant of reactions about X	0.000	kNm	At center of gravity of model (X:3.000, Y:0.000, Z:10.500 m)
Resultant of reactions about Y	0.000	kNm	At center of gravity of model
Resultant of reactions about Z	0.000	kNm	At center of gravity of model
Max. displacement in X	11.6	mm	FE Mesh Node No. 547 (X: 0.500, Y: 0.000, Z: 21.000 m)
Max. displacement in Y	0.0	mm	
Max. displacement in Z	-3.2	mm	FE Mesh Node No. 3 (X: 6.000, Y: 0.000, Z: 21.000 m)
Max. vector displacement	12.0	mm	FE Mesh Node No. 3 (X: 6.000, Y: 0.000, Z: 21.000 m)
Max. rotation about X	0.0	mrad	
Max. rotation about Y	-5.8	mrad	FE Mesh Node No. 4 (X: 6.000, Y: 0.000, Z: 0.000 m)
Max. rotation about Z	0.0	mrad	
Maximum surface strain	0.000	%	FE Mesh Node No. 0 (X: 0.000, Y: 0.000, Z: 0.000 m)
Method of analysis	Linear		Geometrically linear analysis
Reduction of stiffness			Cross-sections, Members, Surfaces
Number of load increments	1		
Number of iterations	1		
Maximum value of element of stiffness matrix on diagonal	9.635E+08		
Minimum value of element of stiffness matrix on diagonal	1.74E+05		
Stiffness matrix determinant	3.025E+2351		
Infinity Norm	2.827E+09		
Summary			
Other Settings:			
Number of 1D finite elements	0		
Number of 2D finite elements	504		
Number of 3D finite elements	0		
Number of FE mesh nodes	559		
Number of equations	3354		
Max. number of iterations	100		
Number of divisions for member results	10		
Division of cable/foundation/tapered members	10		
Number of member divisions for searching maximum values	10		
Subdivisions of FE mesh for graphical results	0		
Percentage of iterations according to Picard method in combination with Newton-Raphson method	5	%	
Options:			
Activate shear stiffness of members (Ay, Az)	<input checked="" type="checkbox"/>		
Activate member divisions for large deformation or post-critical analysis	<input checked="" type="checkbox"/>		
Activate entered stiffness modifications	<input checked="" type="checkbox"/>		
Ignore rotational degrees of freedom	<input type="checkbox"/>		
Check of critical forces of members	<input checked="" type="checkbox"/>		
Nonsymmetric direct solver if demanded by nonlinear model	<input type="checkbox"/>		
Method for the system of equations	Direct		
Plate bending theory	Mindlin		
Solver version	64-bit		
Precision and Tolerance:			
Change default setting	<input type="checkbox"/>		

■ 4.1 NODES - SUPPORT FORCES

Node No.	LC/CO	Support Forces [kN]			Support Moments [kNm]		
		P _x	P _y	P _z	M _x	M _y	M _z
5	LC1	19.60	0.00	22.20	0.00	0.51	0.00
6	LC1	42.40	0.00	-238.20	0.00	-0.51	0.00
Σ Supp.	LC1	62.00	0.00	-216.00			
Σ Loads	LC1	62.00	0.00	-216.00			



Timber Bros Oy
Länsikatu 15, 80110 JOENSUU
Telefon: +35 8409 6465 02

Page: 5/7
Sheet: 1
RF-LAMINATE

RF-LAMINATE

Project: Oppari 11 Model: Jäykistys Date: 25.3.2024

1.1.1 GENERAL DATA

Surfaces to design	1
Design according to Standard	EN 1995-1-1:2004-11/SFS
Material model:	Orthotropic
Ultimate Limit State	
Load cases to design	LC1 Persistent/transient

1.1.2 DETAILS

Plate bending theory:	Mindlin
1 - Composition 1	
Surfaces assigned to composition:	1
Layer coupling	<input checked="" type="checkbox"/>
Cross laminated timber without glue on the narrow side	<input type="checkbox"/>
Shear failure in glued contact surface	<input type="checkbox"/>
Effect of torsional stiffness D_{33}	$k_{33} = 1.00$
Effect of shear stiffness D_{44}	$k_{44} = 1.00$
Effect of shear stiffness D_{55}	$k_{55} = 1.00$
Effect of membrane stiffness D_{88}	$k_{88} = 1.00$
Reference plane relative to:	Composition center
Reference plane shift:	0.0 mm

1.1.3 DATA FOR STANDARD

Solid Timber			
Partial Factor γ_M			
Persistent/transient	1.30		
Accidental	1.00		
Modification Factor K_{mod}		Service Class 1	Service Class 2
Permanent	0.60	0.90	0.50
Long-term	0.70	0.70	0.55
Medium-term	0.80	0.80	0.65
Short-term	0.90	0.90	0.70
Instantaneous	1.10	1.10	0.90
Serviceability Limits (Deflections)			
Combination of actions:		Cantilevers	
Characteristic	L / 400	L _c / 200	
Frequent	L / 300	L _c / 150	
Quasi-permanent	L / 200	L _c / 100	

1.2.1 MATERIAL CHARACTERISTICS - A

Comp. No.	Layer No.	Material Description	Factor Category	Thickness t [mm]	Poisson's Ratio [-]		Shear Modulus [N/mm ²]		
					ν_{xy}	ν_{yx}	G_{xz}	G_{yz}	G_{xy}
1	Composition 1								
	1	Poplar and Softwood Timber C24	A	30.0	0.000	0.000	690.0	69.0	690.0
	2	Poplar and Softwood Timber C24	A	20.0	0.000	0.000	690.0	69.0	690.0
	3	Poplar and Softwood Timber C24	A	30.0	0.000	0.000	690.0	69.0	690.0
Factor Category				A - Solid Timber					

1.2.2 MATERIAL CHARACTERISTICS - B

Comp. No.	Layer No.	Material Description	Angle β [°]	Modulus of Elasticity [N/mm ²]		Sp. Weight γ [kN/m ³]	Coeff. of Th. Exp. α_{LT} [1/K]
				E_x	E_y		
1	Composition 1						
	1	Poplar and Softwood Timber C24	90.00	11000.0	370.0	4.20	5.0E-06
	2	Poplar and Softwood Timber C24	0.00	11000.0	370.0	4.20	5.0E-06
	3	Poplar and Softwood Timber C24	90.00	11000.0	370.0	4.20	5.0E-06

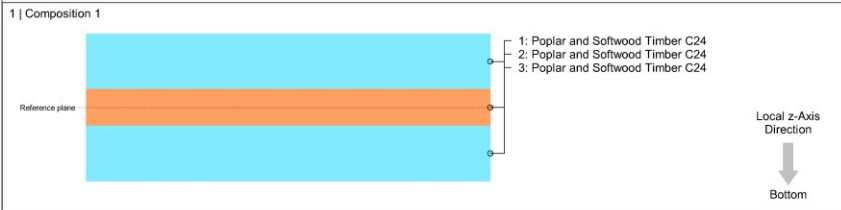


Timber Bros Oy
Länsikatu 15, 80110 JOENSUU
Telefon: +35 8409 6465 02

Page: 6/7
Sheet: 1
RF-LAMINATE

Project: Oppari 11 Model: Jäykistys Date: 25.3.2024

1.2.4 LAYER DIAGRAMS



1.3.1 MATERIAL STRENGTHS - A

Comp. No.	Layer No.	Material Description	Strength for Bend. /Tens. / Compr. [N/mm ²]					
			$f_{b,0,k}$	$f_{b,90,k}$	$f_{t,0,k}$	$f_{t,90,k}$	$f_{c,0,k}$	$f_{c,90,k}$
1	Composition 1							
	1	Poplar and Softwood Timber C24	24.0	24.0	14.5	0.4	21.0	2.5
	2	Poplar and Softwood Timber C24	24.0	24.0	14.5	0.4	21.0	2.5
	3	Poplar and Softwood Timber C24	24.0	24.0	14.5	0.4	21.0	2.5

1.3.2 MATERIAL STRENGTHS - B

Comp. No.	Layer No.	Material Description	Shear Strengths [N/mm ²]				Torsion [N/mm ²]
			$f_{v,y,k}$	$f_{v,k}$	$f_{R,k}$	$f_{v,net,k}$	
1	Composition 1						
	1	Poplar and Softwood Timber C24	4.0	4.0	0.8	-	-
	2	Poplar and Softwood Timber C24	4.0	4.0	0.8	-	-
	3	Poplar and Softwood Timber C24	4.0	4.0	0.8	-	-

1.4 LOAD DURATION AND SERVICE CLASS

Load-ing	Description	Loading Type	Load Duration Class LDC
LC1	Service Class SECL Service Class 1	Wind	Medium-term
Identical for all surfaces			

2.1 MAX STRESS RATIO BY LOADING

Load-ing	Surface No.	Point No.	Point Coordinates [m]			Layer No.	z [mm]	Side	Stresses [N/mm ²]			Ratio [-]	
			X	Y	Z				Symbol	Existing	Limit		
LC1	1	4	6.000	0.000	0.000	1	0.0	Top	$\sigma_{b,0}$	0.00	14.77	0.00	
									$\sigma_{b,90}$	0.00	14.77	0.00	
	1	6	5.500	0.000	0.000	1	0.0	Top	$\sigma_{t,0}$	-12.87	12.92	1.00	
									$\sigma_{t,90}$	0.22	0.25	0.90	
	1	4	6.000	0.000	0.000	1	0.0	Top	$\sigma_{+t,0}$	-12.87		1.00	
									$\sigma_{+t,90}$	0.22		0.90	
	1	1	0.000	0.000	0.000	1	15.0	Middle	τ_{yz}	0.00	0.49	0.00	
									τ_{xz}	0.00	2.46	0.00	
	1	4	6.000	0.000	0.000	2	30.0	Top	τ_{xy}	-2.32	2.46	0.94	
									$\text{int}(\tau_{xz}+\tau_{xy})$			0.89	
	1	4	6.000	0.000	0.000	2	40.0	Middle	$\text{int}(\sigma_{t,90}+\tau_{yz})$			0.90	
	Maximum Ratio 1.00												

2.2 MAX STRESS RATIO BY SURFACE

Surface No.	Point No.	Point Coordinates [m]			Load-ing	Layer No.	z [mm]	Side	Stresses [N/mm ²]			Ratio [-]	
		X	Y	Z					Symbol	Existing	Limit		
1	4	6.000	0.000	0.000	LC1	1	0.0	Top	$\sigma_{b,0}$	0.00	14.77	0.00	
									$\sigma_{b,90}$	0.00	14.77	0.00	
	6	5.500	0.000	0.000	LC1	1	0.0	Top	$\sigma_{t,0}$	-12.87	12.92	1.00	
									$\sigma_{t,90}$	0.22	0.25	0.90	
	4	6.000	0.000	0.000	LC1	2	30.0	Top	$\sigma_{+t,0}$	-12.87		1.00	
									$\sigma_{+t,90}$	0.22		0.90	
	1	0.000	0.000	0.000	LC1	1	15.0	Middle	τ_{yz}	0.00	0.49	0.00	
									τ_{xz}	0.00	2.46	0.00	
	4	6.000	0.000	0.000	LC1	2	30.0	Top	τ_{xy}	-2.32	2.46	0.94	
									$\text{int}(\tau_{xz}+\tau_{xy})$			0.89	
	4	6.000	0.000	0.000	LC1	2	40.0	Middle	$\text{int}(\sigma_{t,90}+\tau_{yz})$			0.90	
	Maximum Ratio 1.00												



Timber Bros Oy
 Länsikatu 15, 80110 JOENSUU
 Telefon: +35 8409 6465 02

Page: 7/7
 Sheet: 1
RF-LAMINATE

Project: Oppari Model: Jäykistys Date: 25.3.2024
 11

2.3 MAX STRESS RATIO BY COMPOSITION

Comp. No.	Surface No.	Layer No.	Point No.	Point Coordinates [m]			Load-ing	Layer		Stresses [N/mm ²]			Ratio [-]			
				X	Y	Z		z [mm]	Side	Symbol	Existing	Limit				
1	1	1	4	6.000	0.000	0.000	LC1	0.0	Top	$\sigma_{B,0}$	0.00	14.77	0.00			
			6	5.500	0.000	0.000	LC1	0.0	Top	$\sigma_{B,90}$	0.00	14.77	0.00			
			6	5.500	0.000	0.000	LC1	0.0	Top	$\sigma_{E,0}$	-12.87	12.92	1.00			
			25	1.000	0.000	0.000	LC1	0.0	Top	$\sigma_{E,90}$	0.08	0.25	0.33			
			6	5.500	0.000	0.000	LC1	0.0	Top	$\sigma_{B+tc,0}$	-12.87		1.00			
			25	1.000	0.000	0.000	LC1	0.0	Top	$\sigma_{B+tc,90}$	0.08		0.33			
			559	0.000	0.000	0.500	LC1	15.0	Middle	τ_{yz}	0.00	0.49	0.00			
			559	0.000	0.000	0.500	LC1	15.0	Middle	τ_{xz}	0.00	2.46	0.00			
			4	6.000	0.000	0.000	LC1	0.0	Top	τ_{xy}	2.32	2.46	0.94			
			4	6.000	0.000	0.000	LC1	15.0	Middle	int($\tau_{xz}+\tau_{xy}$)			0.89			
			25	1.000	0.000	0.000	LC1	0.0	Top	int($\sigma_{E,90}+\tau_{yz}$)			0.33			
			2	2	2	4	6.000	0.000	0.000	LC1	30.0	Top	$\sigma_{B,0}$	0.00	14.77	0.00
			4	6.000	0.000	0.000	LC1	30.0	Top	$\sigma_{B,90}$	0.00	14.77	0.00			
			7	0.000	0.000	10.500	LC1	30.0	Top	$\sigma_{E,0}$	-7.41	12.92	0.57			
			4	6.000	0.000	0.000	LC1	30.0	Top	$\sigma_{E,90}$	0.22	0.25	0.90			
			7	0.000	0.000	10.500	LC1	30.0	Top	$\sigma_{B+tc,0}$	-7.41		0.57			
			4	6.000	0.000	0.000	LC1	30.0	Top	$\sigma_{B+tc,90}$	0.22		0.90			
			559	0.000	0.000	0.500	LC1	40.0	Middle	τ_{yz}	0.00	0.49	0.00			
			559	0.000	0.000	0.500	LC1	40.0	Middle	τ_{xz}	0.00	2.46	0.00			
			4	6.000	0.000	0.000	LC1	30.0	Top	τ_{xy}	-2.32	2.46	0.94			
			4	6.000	0.000	0.000	LC1	40.0	Middle	int($\tau_{xz}+\tau_{xy}$)			0.89			
			4	6.000	0.000	0.000	LC1	30.0	Top	int($\sigma_{E,90}+\tau_{yz}$)			0.90			
			3	3	3	4	6.000	0.000	0.000	LC1	50.0	Top	$\sigma_{B,0}$	0.00	14.77	0.00
			6	5.500	0.000	0.000	LC1	50.0	Top	$\sigma_{B,90}$	0.00	14.77	0.00			
			25	1.000	0.000	0.000	LC1	50.0	Top	$\sigma_{E,0}$	-12.87	12.92	1.00			
			6	5.500	0.000	0.000	LC1	50.0	Top	$\sigma_{E,90}$	0.08	0.25	0.33			
			25	1.000	0.000	0.000	LC1	50.0	Top	$\sigma_{B+tc,0}$	-12.87		1.00			
			25	1.000	0.000	0.000	LC1	50.0	Top	$\sigma_{B+tc,90}$	0.08		0.33			
			559	0.000	0.000	0.500	LC1	65.0	Middle	τ_{yz}	0.00	0.49	0.00			
			559	0.000	0.000	0.500	LC1	65.0	Middle	τ_{xz}	0.00	2.46	0.00			
4	6.000	0.000	0.000	LC1	50.0	Top	τ_{xy}	2.32	2.46	0.94						
4	6.000	0.000	0.000	LC1	65.0	Middle	int($\tau_{xz}+\tau_{xy}$)			0.89						
25	1.000	0.000	0.000	LC1	50.0	Top	int($\sigma_{E,90}+\tau_{yz}$)			0.33						

Maximum Ratio 1.00

4.1 PARTS LIST

Surface No.	Material Description	Thickness t [mm]	No. of Layers	Area [m ²]	Coating [m ²]	Volume [m ³]	Weight [t]
1	Poplar and Softwood Timber C24	30.0	2	126.000	252.000	7.560	3.175
	Poplar and Softwood Timber C24	20.0	1	126.000	0.000	2.520	1.058
Σ		80.0	3	126.000	252.000	10.080	4.234
Σ Total				126.000	252.000	10.080	4.234