

**Ristikkopalkkivälipohjan suunnittelu
puumoduulirakentamisessa**



Ammattikorkeakoulututkinnon opinnäytetyö

Visamäki, Rakennus- ja yhdyskuntatekniikan insinööri

syksy, 2019

Janne Mattila

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikan insinööri
Visamäki

Tekijä	Janne Mattila	Vuosi 2019
Työn nimi	Ristikkopalkkivälipohjan suunnittelu puumoduulirakentamisessa	
Työn ohjaaja	Ville Pulkkinen	

TIIVISTELMÄ

Ristikkopalkkivälipohjan suunnittelu puumoduulirakentamisessa on opinnäytetyö, jonka päämääränä on ennen kaikkea tutkia Teeri-Kolmio Oy:n puuristikkopalkin soveltuvuutta puumoduulituotantoon. Teeri-Kolmion ristikkopalkki on puurakenteinen liimaliitoksilla kokoonpantu kannatinpalkki, jonka sovellusmahdollisuuksia moduulirakentamisessa on monia. Jotta ristikkopalkin soveltuvuutta moduulituotantoon voidaan tutkia mahdollisimman tarkasti, keskitytään tässä opinnäytetyössä sen käyttöön välipohjan pääkannattimena.

Työssä kuvataan lyhyesti moduulituotantoa sekä moduulirakentamista yleisellä tasolla ja pyritään luomaan kuvaa tyyppillisestä puukerrostalomoduulituotteesta, käymällä läpi sen rakenteet käsitteinä sekä kartoittamalla moduulivälipohjarakennetta koskevat rakennusmääräykset.

Puukerrostalomoduulityyppejä voi olla monia erilaisia. Tässä opinnäytetyössä käsiteltävä tyyppillinen moduuli on sisämitoiltaan 4,8 x 9,4 metriä. Tyyppimoduulin pohja jakautuu välipohjan kuormitusten perusteella kahteen osaan, joille laaditaan kannatinpalkiston lujuuslaskelmat Eurokoodi 5 lyhennetyin suunnitteluohjeen mukaisesti.

Huomioitavia rakennusmääräyksiä lujuusominaisuuksien lisäksi ovat ääneristävyys ja paloturvallisuus. Moduulivälipohjan suunnittelussa on huomioitava asukasviihtyvyys, asiakastyytyväisyys sekä tuotannon sujuvuus. Lujuusominaisuuksien kannalta ristikkopalkin vahvuuksina voidaan pitää hyvää tukipaine- sekä taivutuskestävyyttä.

Avainsanat moduulirakentaminen, ristikkopalkki, puu, kerrostalo

Sivut 44 sivua, joista lujuuslaskelmia 12 sivua, sekä liitteitä 5 sivua

Degree Programme in Construction Engineering
Hämeenlinna University Centre

Author	Janne Mattila	Year 2019
Subject	Design of an intermediate floor supported by a wooden trussed girder in modular apartment construction	
Supervisor/s	Ville Pulkkinen	

ABSTRACT

The purpose of this Bachelor's thesis was to explore the suitability of the wooden trussed girder manufactured by Teeri-Kolmio Oy in modular apartment house production. The thesis was commissioned by YIT Suomi Oy. There are many suitable applications for the wooden trussed girder, but this thesis focuses on the use of the trussed girder as the main support of the intermediate floor in an apartment module.

The thesis discusses modular construction as a production method and structures of a typical apartment module made of wood. Building regulations of the modular intermediate floor are also dealt with.

The shapes and sizes of a typical apartment module can vary but in this thesis the interior dimensions are 2,5 x 4,8 x 9,4 meters. The floor plan of the module can be divided into two sections based on the loads of the intermediate floor where two types of trussed girders are used. Strength calculations were made for the girder according to Eurocode 5.

The strength factors which need to be taken into consideration are shear force, support pressure, deflection and vibration frequency of the intermediate floor. Building regulations that also need to be considered are fire and sound regulations. Comfort of the inhabitants, the contentment of the customers and the smoothness of the production are key components while designing the structure.

Keywords modular construction, trussed girder, apartment house, wood

Pages 44 pages including 12 pages of strength calculations and 5 pages of appendices

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	1
2	PUUMODUULIRAKENTAMINEN	2
2.1	Puumoduulin runkomateriaalina	2
2.2	Ristikkopalkki ja moduulirakentaminen tuotantotapana	2
2.3	Erytishuomioita puukerrostalon suunnittelusta.....	3
2.3.1	Rungon vakaus ja painuminen	3
2.4	Modulaarinen pohjaratkaisu	4
2.4.1	Välipohja.....	5
2.4.2	Ulkoseinä.....	6
2.4.3	Huoneistoväliseinä ja sisäkatto	7
3	RISTIKKOPALKKIVÄLIPOHJA.....	8
3.1	Moduulirakenne ja välipohjan liittyminen moduulirunkoon	8
4	MODUULIVÄLIPOHJAN SUUNNITTELUSSA HUOMIOITAVAT MÄÄRÄYKSET	11
4.1	Palomääräykset.....	11
4.2	Ääneneristävyys.....	11
4.3	Moduulivälipohjan talotekniset ratkaisut	12
5	MODUULIVÄLIPOHJAN RAKENNETYYPPI	12
5.1	Moduulialapohja	13
5.2	Moduuliyliäpohja	13
6	RISTIKKOPALKKI	14
6.1	Rakenne	14
6.2	Poikittaisjäykistelinjat.....	15
6.3	Välipohjapalkiston suurin korkeus moduulituotannossa.....	15
7	RISTIKKOPALKIN KUORMIEN MÄÄRITYS	16
7.1	Hyötykuormat ja pistekuorma F	16
7.2	Omakuorma g_k	17
7.3	Kuormitusyhdistelmä murtorajatilassa ja kuormien varmuuskertoimet	18
7.4	Kuormituskaavio	18
8	MODUULIVÄLIPOHJAN MITOITUS	19
8.1	Ristikkopalkin mitoitusleveys	19
8.2	Ristikkopalkin materiaaliominaisuudet.....	20
8.3	Ristikkopalkin taipumatarkastelu	20
8.3.1	Sallittu taipuma.....	20
8.3.2	Hetkellinen taipuma.....	21
8.4	Leikkausvoimakestävyys.....	21
8.4.1	Leikkausjännitys.....	22
8.5	Tukipainekestävyys ja tehollinen kosketuspinta	22

8.5.1	Mitoitusehto tukipainekestävyydelle	22
8.5.2	Puristusjännitys ja puristuslujuus syiden suunnassa	23
8.6	Värähtely	23
8.7	Sallittu taipuma pistekuormasta.....	24
9	YHTEENVETO.....	25
9.1	Lujuuslaskelmien yhteenveto	25
9.2	Ristikkopalkin soveltuvuus moduulituotantoon.....	26
	LÄHTEET.....	28
	HAASTATTELUT	29

Liitteet

Liite 1	Mitoituslaskelmat, välipohjapalkisto, kylpyhuonemoduuliosa
Liite 2	Mitoituslaskelmat, välipohjapalkisto, huoneisto-osa
Liite 3	Välipohjaliitoksen U-arvolaskelma
Liite 4	Välipohjaliitos, periaatekuvat (DV301, DV302, DV303), Teeri-Kolmio Oy
Liite 5	Tuotetiedot Gyproc GFL 15 palonsuojalevy

1 JOHDANTO

Viimeisen sadan vuoden aikana lähes kaikilla teollisuuden aloilla tuottavuuden kehitys on ollut vertaansa vailla ihmiskunnan historiassa. Viimeisten vuosien aikana, on rakennusalan ammattilaisten keskuudessa ollut laajalti keskustelua, siitä miksi juuri rakentaminen kaikista teollisuuden aloista on edistynyt hitaimmin tuottavuuden saralla. Rakentamisen menetelmien ja logistiikan kehittymisestä huolimatta huomattavan suuri osa rakentamisesta tehdään edelleen haastavissa ja epävakaisissa työmaaolosuhteissa.

Kehitys ja kasvu ovat aina tuskallisia prosesseja, jotka vaativat usein uskaliaita yrityksiä, joiden lopputulos ei aina ole ennakkoon selvillä. On löydettävä uusia toimintatapoja sekä vähemmän kuljettuja polkuja. Tämän opinnäytetyön tavoitteena on olla omalta osaltaan kartoittamassa sekä yhdistämässä uusia kehityskelpoisia ja vanhoja hyviksi havaittuja tuotantomenetelmiä.

Teeri-Kolmio Oy:n puuvalmisteinen ristikkopalkki on tämän ylöjärveläisen rakennusliikkeen kehittämä ja valmistama rakennustuote. Opinnäytetyön tilaajan YIT Suomi Oy:n toiveena on, että työssä tutkitaan ristikkopalkin sovellusmahdollisuuksia esivalmisteperusteisen tuotannon käyttöön.

Opinnäytetyön päämääränä on tuotekehitys ja tavoitteena luoda tuotantotapaan soveltuva ja kustannuksiltaan kilpailukykyinen välipohjarakenne. Mikäli asetetut tavoitteet saavutetaan, on tilaajalla olemassa lähtökohdat ristikkopalkin käytölle moduulivälipohjan pääkannattimena sekä lukijalla selkeä kuva ristikkopalkista ja sen toimivuudesta rakennustuotteena ja käsitteily puumoduulirakentamisesta tuotantotapana.

Työssä kartoitetaan rakenteen teknisen toimivuuden ja turvallisuuden kannalta vaadittavat rakennusmääräykset, kuten ääneneristävyys- ja palomääräykset sekä laaditaan lujuuslaskelmat Puuinfo Oy:n laatiman Eurokoodi 5 puurakenteiden lyhennetyin suunnitteluohjeen neljännen painoksen mukaisesti, sisältäen taipumatarkastelun, tukipaine- ja leikkausvoimakkestävyyden sekä värähtelymitoituksen.

Opinnäytetyön rakenneleikkaukset sekä kuormitus- ja korkokaaviot ovat laadittu Kymdata Oy:n Cads planner House -ohjelmistolla. 3D-havainnekuvat ovat puolestaan mallinnettu Grafisoftin Archicadiin pohjautuvalla puurakennesuunnittelutyökalu Archiframella. Lujuuslaskelmien laadinnassa on hyödynnetty Mathsoftin Mathcad 15:sta.

2 PUUMODUULIRAKENTAMINEN

2.1 Puumoduulin runkomateriaalina

Puun soveltuvuus moduulirakentamisen runkomateriaaliksi voidaan perustella monelta eri kannalta. Puun edut verrattuna yleisesti käytetyimpiin rakennusmateriaaleihin ovat moninaiset. Puun suhteellinen keveys, huomioiden sen hyvät lujuusominaisuudet, on yksi merkittävimmistä syistä sen yleistyvään käyttöön moduulirakentamisen päämateriaalina. (Puuinfo, 2013.)

Tänään ja tulevaisuudessa korostuvaa ympäristöystävällisyyttä ei voida sivuuttaa kriteerinä tehdessä valintoja käytettävistä rakennusmateriaaleista. Puu on uusiutuva ja ympäristöystävällinen materiaali, joka kotimaisesti tuotettuna aiheuttaa verraten vähäistä ympäristörasitusta sekä tuotanto- että logistiikkaportaassa. (Puuinfo, 2019, 2.)

Puu rakennusmateriaalina on helposti työstettävää, eikä aiheuta terveyshaittoja, mikäli työturvallisuustekijöistä, kuten pölynpoistosta on huolehdittu riittävästi. Koska puu on orgaaninen materiaali, sen merkittävimmäksi epäedulliseksi ominaisuudeksi rakennusmateriaalina voidaan lukea kosteusvaurioherkkyys. Moduulirakentamisen hyödyt korostuvat juuri tämän ongelman torjumisessa. (Alanen, haastattelu 28.3.2019.)

Moduulit rakennetaan säänkestäviksi rakennusosiksi hallituissa ja vakaisissa tehdasolosuhteissa. Työmaaolosuhteissa tehtävä rakentaminen on karstittu mahdollisimman vähään. Moduulien asennuksen ja kuljetuksen aikaiset sääsuojaukset poistetaan, kun asennettava rakennusosa on täysin säältä suojassa. Moduulirakentamisessa tavoitteena on rajata työmaalla rakentamiseen käytettävä aika mahdollisimman vähään. (Alanen, haastattelu 28.3.2019.)

Lyhyempi työmaalla rakentamiseen käytetty aika alentaa tontista aiheutuvia pääomakustannuksia sekä laskee epävakaita olosuhteista aiheutuvien riskitekijöiden määrää. Kuten kaikessa liiketoiminnassa, myös rakentamisessa taloudelliset tekijät sanelevat laajalti tehtäviä ratkaisuja. Rahallisen näkökulmankin kannalta puu on moduulinrunkomateriaalina kilpailukykyinen vaihtoehto. (Alanen, haastattelu 28.3.2019.)

2.2 Ristikkopalkki ja moduulirakentaminen tuotantotapana

Puuristikopalkin käytöllä moduulivälipohjan pääkannattimena tavoitellaan kevyempiä rakenteita sekä tuotannon sujuvuutta edistäviä rakenneratkaisuja. Kevyempi rakenteisella, mutta lujuusominaisuuksiensa

kannalta toimivalla välipohjarakenteella saadaan kevennettyä moduulin muiden osien rakenteita. (Alanen, haastattelu 28.3.2019.)

Tuotantomäärien kasvaessa mahdolliset taloudelliset hyödyt voivat olla merkittävät, ottaen huomioon alhaisemmat materiaalikustannukset, tuotteen lyhentyneen läpimenoajan tuotantoprosessissa, tuotantotyön rasittavuuden vähenemisellä sekä kevyempi rakenteisen moduulin logististen hyötyjen yhteisvaikutuksena. (Alanen, haastattelu 28.3.2019.)

Tehtaalla valmistetut puukerrostalomoduulit kuljetetaan kuorma-autoyhdistelmällä työmaalle, jossa ne asennetaan moduuliasentamiseen erikoistuneen asennusryhmän toimesta. Moduulien nostoon käytetään työmaanosturia tai nosturiajoneuvoa. Moduulien asentaminen pyritään toteuttamaan suoraa kuorma-autosta ilman välivarastointia. Välivarastointi työmaalla lisää työvaiheita sekä altistaa moduulit sääolosuhteiden tai työtapaturmista aiheutuville vaurioille. Moduulien toimitus ja asennus toteutetaan suunnittelijan ennalta määräämässä asennusjärjestyksessä. (Alanen, haastattelu 28.3.2019.)

Moduuli koostetaan omilla tuotantolinjoilla esivalmistetuista suurelementeistä, ja ainoastaan välttämättömät työvaiheet toteutetaan moduulin kokoamisvaiheessa. Moduulin runko koostuu välipohjaelementistä, sisäkattoelementistä, ulkoseinäelementistä, kahdesta huoneistoväliseinäelementistä sekä porraskäytävän ja huoneiston välisestä seinäelementistä. (Alanen, haastattelu 28.3.2019.)

Tässä opinnäytetyössä käsiteltävä moduulityyppi voidaan koostaa seuraavalla tavalla. Moduulin kokoamisvaiheessa seinäelementit liitetään välipohjaelementtiin, joka toimii yksittäisen moduulin alapohjana. Ennen moduulin sisäkaton asentamista asennetaan väliseinäelementit sekä kylpyhuonemoduuli. Moduulin sisäiset sähkö- ja talotekniset kytkennät tehdään kokoamisvaiheessa. Työmaalla tehtävät sähkö- ja talotekniset työt rajoittuvat ainoastaan moduulin liittäminen esimerkiksi porraskäytävässä sijaitsevaan tekniikkahormiin. (Alanen, haastattelu 28.3.2019.)

Moduulit suojataan säältä kuljetuksen sekä varastoinnin ajaksi. Moduuliasennuksen aikana sääsuojaus poistetaan moduuli kerrallaan, seuraavaa kerrosta asennettaessa, jotta kuivaketju säilyy katkeamattomana. (Alanen, haastattelu 28.3.2019.)

2.3 Erityishuomioita puukerrostalon suunnittelusta

2.3.1 Rungon vakaus ja painuminen

Puurakenteisen kerrostalon suunnitelmissa on huomioitava erityisesti rungon jäykistäminen tuulikuormaa vastaan. Rungon vakauteen voidaan vaikuttaa seinien ja vaakarakenteiden vinojäykisteillä tai käyttämällä rungon

levyjäkistystä, jonka vahvuutena on jäykistävän vaikutuksen jakautuminen koko rungon alalle. Rungon vakauden suunnitteluun voidaan vaikuttaa rungon pystyosien tuulensuojalevytyksen sekä sisäverhouslevytyksen kiinnikeiteheyttä kasvattamalla. Välipohjan kansilevyn kiinnitystä parantamalla saavutetaan myönteisiä vaikutuksia rakennukseen kohdistuvan tuulikuorman vähentämisessä. (RT 82-10838, 2005, 4.)

Välipohjan kansilevytyksen suurin hyöty rungon jäykistykseen kannalta saavutetaan, kun kansilevytys kulkee yhtenäisenä koko rakennuksen alalla. Moduulituotannossa tämä ei kuitenkaan ole mahdollista, mutta osittaista hyötyä sillä voidaan saavuttaa. Vaakasuuntaisena jäykisteenä voidaan hyödyntää yläpohjan sisäkattolevytystä sekä yläpohjan kansilevytystä. (RT 82-10838, 2005, 4.)

Monessa tapauksessa rungon jäykisteenä käytetään hissikuilua tai porraskäytävää. Rungon jäykistys on suunniteltava siten, että palotilanteessa rungon vakaus ei vaaranna rakenteelle määritetyn palonkestoajan. (RT 82-10838, 2005, 4.)

Puurakenteisten monikerroksisten rakennusten rungot painuvat pystyttämisen yhtenäisen vuoden ajan. Painumaa muodostuu keskimäärin 5–15 mm kerroslukua kohden. Kyseessä ei ole vaarallinen ilmiö, mikäli se on huomioitu rakenteiden suunnittelussa ja painuma jakautuu tasaisesti koko rakennuksen alalle. (RT 82-10838, 2005, 4.)

Painuma on seurausta kosteusmuutoksista rakenteissa sekä tilojen luonnollisesta kuormituksesta. Rankarakenteisissa monikerroksisissa rakennuksissa rakenteiden painuminen on yleensä seurausta vaakarakenteissa puun syiden vastaisesta kohtisuorasta puristuksesta. Rungon painumista voidaan rajoittaa käyttämällä mahdollisimman kuivaa puutavaraa runkomateriaalina. (RT 82-10838, 2005, 4.)

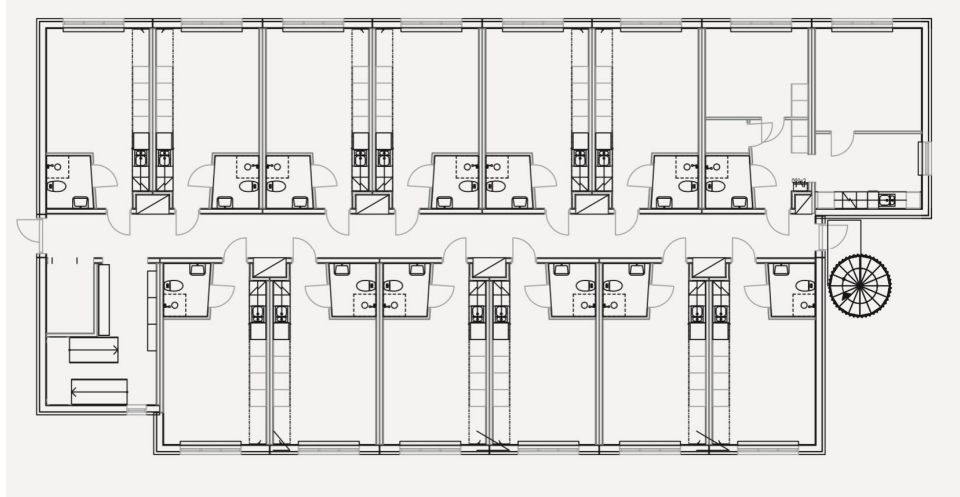
2.4 Modulaarinen pohjaratkaisu

Puomodulikerrostalon huoneisto voi koostua yhdestä tai useammasta moduulityypistä. Tyypillisessä pohjaratkaisussa moduulit kootaan päällekkäin talon keskelle jäävän porraskäytävähuoneen molemmin puolin. Katokannattimilta kuormat siirtyvät moduulien kohdakkain oleville ulkoseinärungoille. Moduulien vastakkaisten väliseinärunkojen puolet kannattavat moduulin välipohjaa ja ottavat vastaan niiltä aiheutuvat kuormat. Tyypillisessä pohjaratkaisussa 1–2 moduulin sivua rajoittuvat ulkotilaan, yksi sivu porraskäytävähuoneeseen ja 1–2 sivua rajoittuvat viereiseen huoneistoon. (Lindbäcks Bygg AB, 2017, 6.)

Tuotannolliset- ja logistiset tekijät määrittävät moduulikoon, joka antaa raamit arkkitehtisuunnitteluun. Moduulikoko rajoittaa osaltaan huoneistoratkaisuja. Samankaltaisuus ja rakennussuunnittelun selkeät suuntaviivat edistävät tuotannon tehokkuutta, säästää kustannuksia, ja samalla

vähentäen rakennusvirheiden mahdollisuutta, kun käytössä on mahdollisimman pitkälle viedyt ja jatkuvassa testauksessa olevat rakenneratkaisut.

Modulaarisen rakennuksen pohjaratkaisuun saadaan eri variaatioita muuttamalla huonejakoja, jotka perustuvat yhteen tai useampaan eri moduulityyppiin. (Lindbäcks Bygg AB, 2017, 6.)



Kuva 1. Tyypillinen pohjaratkaisu (Lindbäcks Bygg AB, 2017, 6.)

2.4.1 Välipohja

Kerrostalon välipohja on rakennusosa, joka jakaa rakennuksen kerroksiin. Puurakenteisissa välipohjissa välipohjarakenne muodostuu kannatinpalkistosta, kansirakenteesta sekä alapuolisesta verhouksesta. Kannatinpalkiston tehtävänä on ottaa vastaan ja siirtää pystyrungolle kansirakenteeseen välipohjalta muodostuvat kuormitukset. Palkisto mitoitetetaan tapauskohtaisesti kuormitusten sekä sille asetettujen rakenteellisten vaatimusten mukaisesti. (RT 82-10838, 2005, 7.)

Keskeisinä tekijöinä puupalkiston rakenteellisen lujuuden kannalta ovat palkkien jakoväli sekä käytettävän palkin materiaali ja palkin poikkileikkauksen koko. Välipohjapalkistoa mitoittaessa kuormitusten suuruuteen vaikuttavat tekijät ovat palkiston jänneväli, eli palkin kannattama vapaa etäisyys tukipisteiden välissä, sekä rakennuksen käyttötarkoituksesta rakennusosalle aiheutuva kuormitus. Kansirakenne osaltaan sitoo ja jäykistää palkiston poikittaissuunnassa. (RT 82-10838, 2005, 7.)

Välipohjan pintamateriaali ei saa olla kosketuksissa ympäröiviin seinärakenteisiin, jotta äänisiltoja ei synny. Pintamateriaali jätettävä vähintään 5 mm irti pystyrakenteista. Asukasviihtyvyyden kannalta on oleellista välipohjarakenteen äänitekninen toimivuus. (RT 82-10838, 2005, 7.)

2.4.2 Ulkoseinä

Puurakenteisen kerrostalon ulkoseinä on osa rakennuksen vaippaa. Ulkoseinä on monikerroksinen rakenne, joka koostuu useasta eri materiaalista, joiden yhtälön on täytettävä rakenneosalle asetetut vaatimukset. Ulkoverhous muodostaa osan rakennuksen julkisivua ja on osaltaan luomassa ympäristön maisemaa. Ulkoverhous myös suojaa rakennetta ulkopuoliselta vaikutukselta, kuten sääolosuhteilta. Puurakenteisissa rankarunkoisissa rakennuksissa ulkoverhousmateriaalina käytetään usein puista sormipaneelia. Ulkoverhous erotetaan muusta runkorakenteesta lautakoolauksella, joka toimii samalla vapaasti tuulettavana ilmarakona ulkoverhouksen alla, jotta panelointi kuivuu koko ainepaksuutensa alalta, eikä johda kosteutta muuhun runkorakenteeseen. (RT 82-10838, 2005, 14.)

Ulkoseinärunгон ulommaisena eristekerroksena rungon ulkopinnassa on tuulensuojalevy, jonka materiaalina on yleensä puukuitu tai kipsi. Tuulensuojalevyn on oltava riittävän tiivis, jotta se suojaa rungon muita eristekerroksia tuulenpaineen aiheuttamalta lämpöhäviöltä. Tuulensuojakerros ei saa kuitenkaan olla niin tiivis, että se estäisi höyrynsulkukerroksen ulkopuolisen kosteuden kulkeutumisen ulkoverhouksen tuuletusväliin. (RT 82-10838, 2005, 13.)

Pääosa ulkoseinän lämpöeristeestä sijaitsee runkokerroksessa pystyrunkojen väleihin tiivistettyinä. Runгон lämpöeristeinä käytetään yleensä kivi-, sellu- tai mineraalivillaa, myös polyuretaanilevyä voidaan käyttää.

Ulkoseinärunгон rakenteellisena tehtävänä on vastaanottaa kuormitukset rungon vaakarakenteilta, kuten välipohjilta sekä kattokannattimilta ja siirtää ne perustukselle. Rakennuksen vakauden kannalta rungon jäykistävä merkitys on suuressa roolissa. Ulkoseinärunгон jäykistävään vaikutusta voidaan muuttaa sisä- ja ulkolevytyksen kiinnitystapaa ja -tiheyttä säätelemällä. Runko koostuu pystytolpista, ylä- ja alasidepuista sekä kehäpalkistosta, jonka sijaintia rungossa voidaan muuttaa rakenteellisten vaatimusten mukaisesti. (RT 82-10838, 2005, 13.)

Höyrynsulkukalvo sijoitetaan runkorakenteessa mahdollisimman lähelle rakenteen sisäpintaa, yleensä sisäpuolisen koolauksen ja rungon väliin. Tämän rakennekerroksen tarkoitus on rajoittaa hallitsematonta ilmavirta rakenteen läpi sekä estää rakennuksen sisätilojen käytöstä aiheutuvan kosteuden siirtyminen runkorakenteen ulompiin osiin. Mikäli ulkoseinärunгон yhteydessä on märkätila, jonka rakenne sisältää vedeneristyksen, on höyrynsulkukalvon sijasta käytettävä ilmatiivistä, mutta hengittävää rakennekerrosta, kuten ilmansulkupaperia. Sisäpuolisen koolauksen rankaväleihin asennetaan lisälämmöneriste ja rakenteen sisäpuoli verhoillaan rakennuslevyllä. (RT 82-10838, 2005, 14.)

2.4.3 Huoneistoväliseinä ja sisäkatto

Huoneistoväliseinä jakaa kerrosalan huoneistoihin. Rankarunkorakenteinen väliseinä voidaan toteuttaa puu- tai teräsrunkoisena. Puurunkoinen väliseinä koostuu ulkoseinärungon tapaan pystyrangoista ylä- ja alasidepuista sekä kehäpalkista, mikäli kyseessä on kantava väliseinä.

Huoneistoväliseinä muodostuu kahdesta ilmaraolla toisistaan erotetusta rungosta. Seinärunko verhoillaan molemmin puolin rakennuslevyllä. Ääniteknisistä syistä rungot eivät saa olla sidoksissa toisiinsa. Huoneistoväliseinän on täytettävä ilmajääneristävyysvaatimus $R'_w \geq 55$ dB. (RT 82-10838, 2005, 15.)

Puukerrostalorakentamisessa on huoneistoväliseinän, paloa osastoivana rakenteena, mikäli kyseessä on ei-kantavan seinän, täytettävä palonkesto-vaatimus EI60. Kantavalle väliseinälle on laadittava hiiltymämitoitus, tai levyverhouksen on taattava riittävä palonkesto. (RT 82-10838, 2005, 15.)

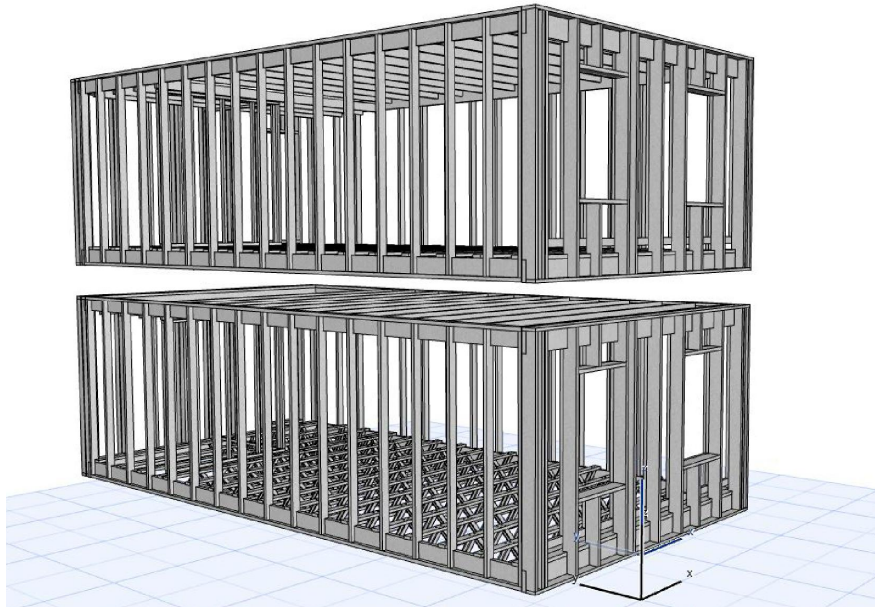
Tavanomaisessa paikallarakentamisessa sisäkattorakenne kiinnittyy välipohjapalkistoon tai kattokannattimiin. Tässä opinnäytetyössä käsiteltävässä rakentamistavassa, sisäkatto toimii yksittäisen moduulin yläpohjana. Yhdessä välipohjan kanssa, sisäkattorakenne muodostaa rakennuksen kerrokseen jakavan rakenteen. Sisäkattorakenne koostuu kannatinpalkeista, eristeestä sekä sisäverhouksesta. Kattorakenne erotetaan välipohjan rakenteista painumavaralla. Kannatinpalkistolle ei siis siirry kuormia välipohjalta, ja sen on kannatettava oma kuormansa. Sisäkaton eriste toimii ääntä vaimentavana rakennekerroksena. Sisäkaton verhouksen rooli on suojata sisäkaton kannattimia palotilanteessa. (RT 82-10838, 2005, 11.)

3 RISTIKKOPALKKIVÄLIPOHJA

Tässä opinnäytetyössä käsiteltävä puukerrostalomoduli on tyyppiesimerkki puumoduulista. Palkiston jänneväli on työntilaajan toimesta rajattu 4,8 metriin. Moduulivälipohja on neljältä sivulta tuettu puurakenteinen välipohja, joka jakautuu kahteen rakennekokonaisuuteen.

Moduulivälipohjarakenne koostuu kahden päällekkäin olevan moduulin ala- sekä yläpohjista. Ristikkopalkkivälipohja jäykistetään kansivanerilla, sekä kahdella poikittaisjäykistelinjalla. Välipohjapalkisto kannatetaan moduulirunkoon upotetusta alapalkista.

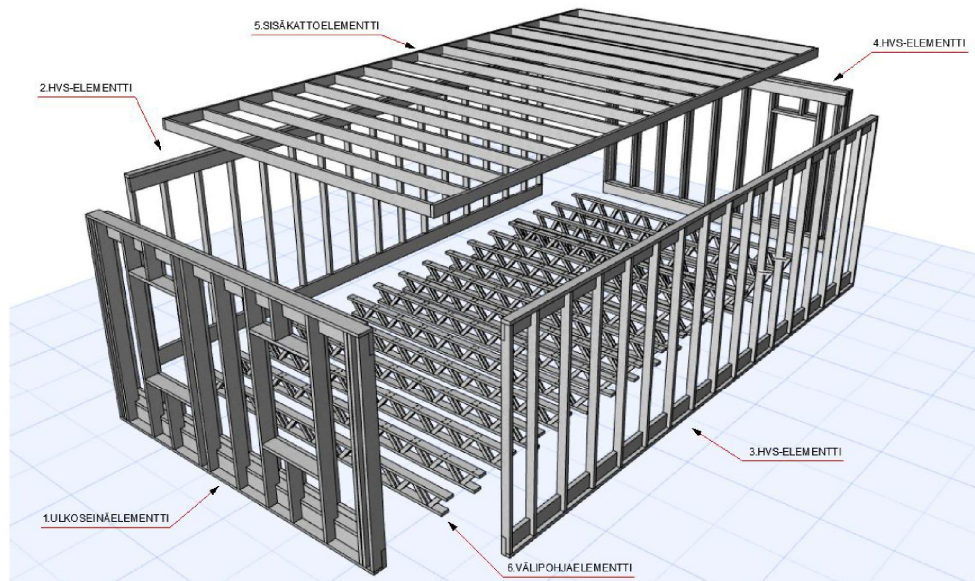
Rakenteelle asetettujen teknisten vaatimusten sekä tilaajan asettaman moduulin suurimman sallitun korkeuden vuoksi välipohjapalkiston korkeus on rajattava 300 mm.



Kuva 2. Kaksi moduulia, runkonäkymä

3.1 Moduulirakenne ja välipohjan liittyminen moduulirunkoon

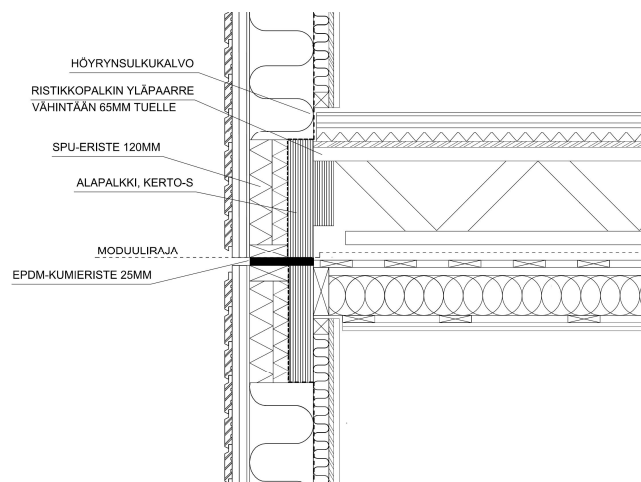
Tyyppimoduulin runko koostetaan kuudesta suurelementistä. Sisäkatto (kuva 3, 5.elementti) ja välipohja (kuva 3, 6.elementti) kannatetaan vastakkaisista huoneistoväliseinistä (kuva 3, elementit 2 ja 3) sekä tuetaan sivuilta ulkoseinästä (kuva 3, 1.elementti) ja porraskäytävään rajautuvasta huoneistoväliseinästä (kuva 3, 4.elementti).



Kuva 3. Moduulin runkorakenne

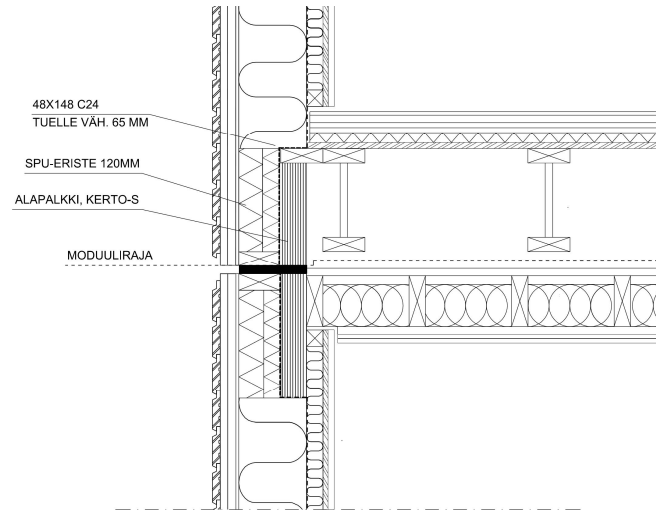
Väli­pohjan kohdalla on ulkoseinärungossa käytettävä eristeenä SPU-120 polyuretaanilevyä tai vastaavaa lambda-arvon 0,022 W/mK omaavaa eristettä, jotta ulkoseinärakenteelle asetettu U-arvo­vaatimus 0,17 W/(m²K) saavutetaan, eikä kylmäsiltaa synny (Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta 1010/2017 §24). U-arvolaskelma on esitetty liitteessä 3. Liitosleikkauksien suunnittelussa on sovellettu Teeri-Kolmio Oy:n periaatepiirroksia DV301, DV302, DV303, jotka ovat liitteessä 4.

Moduuliväli­pohja kannatetaan päätyseinillä ulkoseinärunkoon kiinnitettyyn kertopuupalkkiin. Pää­lekkäisten moduulien höyrynsulkukalvot taite­taan palkkien väliin puristuksiin. EPDM-kumieriste tiivistää moduulien väli­sen vaakasauman (Kuva 4).

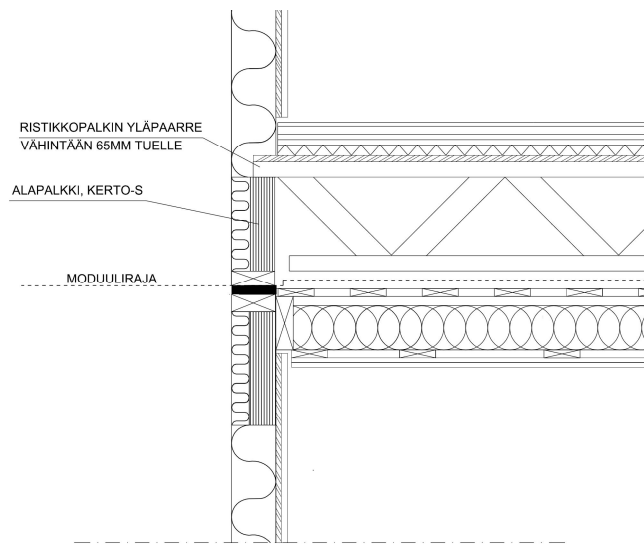


Kuva 4. Leikkaus, päätyseinä

Välipohjapalkisto tuetaan moduulirunkoon neljältä sivulta. Palkisto kulkee pitkän sivun suuntaisesti. Sivuseinillä välipohjan kansivaneri tuodaan tuelle seinärungon alapalkista kannatetun lappeellaan olevan sahatavarapalkille (Kuva 5). Huoneistojen välisillä sivuilla moduulivälipohjat kannatetaan huoneistoväliseinärungon alapalkista. Seinärungot erotetaan toisistaan ilmaraoilla (Kuva 6).



Kuva 5. Leikkaus, sivuseinä



Kuva 6. Leikkaus, huoneistoväliseinä

4 MODUULIVÄLIPOHJAN SUUNNITTELUSSA HUOMIOITAVAT MÄÄRÄYKSET

4.1 Palomääräykset

Tässä opinnäytetyössä käsiteltävällä moduulituotantotavalla valmistettavat asuinrakennukset kuuluvat paloluokkaan P2. Kyseessä on korkeintaan 4-kerroksinen puurakenteinen kerrostalo. Kantavien rakenteiden, mukaan lukien huoneistojen välisen välipohjan palonkestävyys vaatimus on REI60. Välipohja toimii huoneistojen välistä paloa osastoivana rakenteena. (RT 82-10838, 2005, 3.)

Välipohjan palosuojaus toteutetaan levyrakenteisella suojaverhouksella. Huoneiston sisäkattoon asennetaan kaksinkertainen palonsuojakipsilevytyks GFL15, jonka paloluokitus on palamaton tai lähes palamaton A2-s1 d0 (liite 5).

Moduulin kaikkien rakennusosien, eli välipohjan, huoneistoväliseiniä ja ulkoseinän eristemateriaalia on oltava palamatonta rakennustarvikemateriaali, paloluokka palamaton tai lähes palamaton A2 s1 d0 (RT 82-10838, 2005, 6, 11, 13, 15.)

Välipohjassa kaksinkertaisella GFL15-levytyksen tuoma suojavaikutus hiiltymistä vastaan lakkaa 60 minuutin huoneistopalon jälkeen. Huoneistopalon kestäessä yli 60 minuuttia on todennäköistä, että sisäkaton levysuojaus on romahtanut ja välipohjan kannatinpalkiston hiiltymisen alkaa. Hiiltymämitoitusta ei levysuojauksen vuoksi ole tarvetta laatia. Palo-osastointivaatimus saavutetaan levysuojauksella.

4.2 Ääneneristävyys

Ilmääneneristysluku ($R'w$) asuinhuoneistojen välillä on oltava vähintään 55 dB (RT 82-10838, 2005, 7). Puurakenteisessa välipohjassa kyseinen vaatimus saavutetaan ilmajousirakenteella. Moduulin sisäkaton kannatinpalkkien väleihin asennettava 100 mm eristevilla ja 200 mm vapaata ilmatilaa sitovat korkeita ääniä huoneistojen välillä.

Asuinhuoneistojen välillä askeläänitasoluksi ($L'n,w$) sallitaan korkeintaan 53 dB (RT 82-10838, 2005, 7). Tässä työssä esiteltävällä moduulivälipohjarakenteella vaadittu askeläänieristävyys saavutetaan. Kaksinkertainen Lapikas-lattialevy tuo rakenteeseen massaa, joka vaimentaa matalien äänitaajuuksien kulkeutumista huoneistojen välillä. Lattiarakenne toteutetaan kelluvana sijoittamalla lattialevytyks askeläänieristeenä toimivan 30 mm kovan villaeristeen varaan.

Vaakasuunnassa moduulirungon erotetaan toisistaan 25 mm EPDM-kumi tärinäeristeellä, joka estää melun kulkeutumisen pysty- ja vaakasuunnassa

huoneistojen välillä. Vastakkain kohdistuvat moduulirungot erotetaan 20 mm ilmaraolla. Ennen uuden rakenteen tuotannon aloittamista, on syytä testata rakenteen äänitekninen toimivuus VTT:n koputuskokeella.

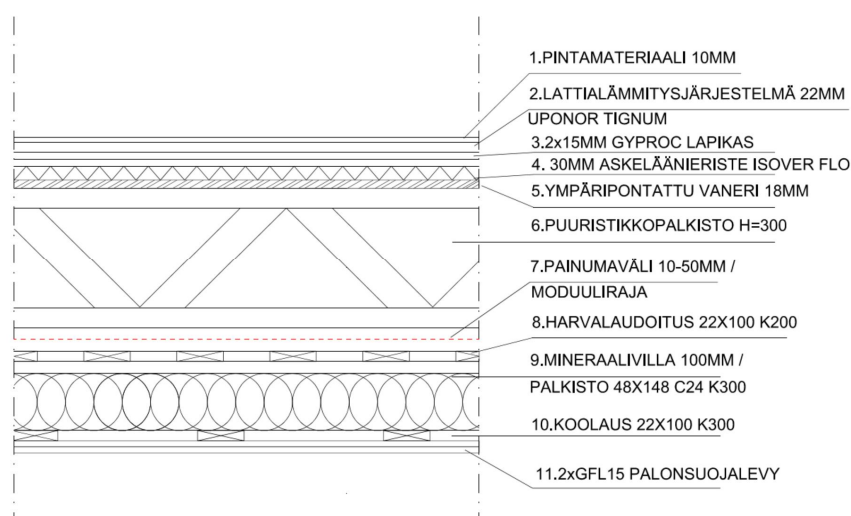
4.3 Moduulivälipohjan talotekniset ratkaisut

Raitisilmakanavat sijoitetaan märkätiloissa sisäkattorakenteeseen ja huoneistotiloissa hormikoteloon. Tässä työssä käsiteltävän moduulin viemäri- ja käyttövesiputkistot tuodaan esimerkiksi porraskäytävässä sijaitsevasta tekniikkahormista välipohjan kannatinpalkistotilassa vesi- ja viemäripisteille.

Toisin kuin perinteisillä kannatinpalkistoilla, ristikkopalkkeihin ei tarvitse tehdä työstöjä poikittaisille linjavedoille. Ristikkopalkin diagonaalitukivälissä voi vaivatta tuoda esimerkiksi halkaisijaltaan 110 mm viemärikanavan. Lämmitysjärjestelmänä toimii vesikiertoinen lattialämmitys. Suoja-putkitetut sähköjohdotukset sijoitetaan sisäverhouslevytyksen alle sisäkoolausväliin.

5 MODUULIVÄLIPOHJAN RAKENNETYYPPI

Moduulivälipohja muodostuu kahdesta rakennekokonaisuudesta. Kuvassa 7 rakennekerrokset 1–5 muodostavat yläpuolisen moduulin alapohjan ja rakennekerrokset 7–10 alapuolisen moduulin yläpohjan. Näiden kahden rakennekokonaisuuden välissä rakennekerros 6 on 10–50 mm painumaväli, jonka koko määräytyy talon kerroslukumäärän mukaan. Painumava-
raa jätetään 10 mm kerrosta kohden.



Kuva 7. Levyrakenteinen moduulivälipohja

5.1 Moduulialapohja

Moduulituotannon sujuvuuden vuoksi välipohjan lattialämmitys toteutetaan levyrakenteisena (rakennekerros 2, kuva 7). Näin välttyään tuotantoa hidastavilta valutöiltä sekä kuivumisajoilta. Moduulituotantoon soveltuvana järjestelmäehdokkaana voidaan pitää Uponorin Tignumia. Kyseisessä järjestelmässä kiertovesiputkisto asennetaan uritettuun lastulevyyn, josta lämmönjakolevyt heijastavat lämmön pintakerrokseen. Kaksinkertainen Gyproc Lapikas -levytys (rakennekerros 3, kuva 7) tuo värähtelytaajuuden kannalta tarvittavaa massaa, muuten kevytrakenteiseen välipohjaan.

Ympäripontattu 18 mm vaneri toimii palkistoa sitovana kansirakenteena. Kansivaneri kiinnitetään välipohjapalkistoon mekaanisen kiinnityksen lisäksi myös liimaamalla. Palkiston ja kansivanerin yhdistelmää voidaan mitoituksessa käsitellä yhtenäisenä T-poikkileikkauksena, jolla on rakenteen kannalta edullinen jäykistävä vaikutus. Tuotannollisista syistä liimauksen liittovaikutuksesta huomioidaan laskennallisesti 50 %. (Puuinfo, 2018, 22.)

Moduulivälipohjassa käytetään kahta eri ristikkopalkistotyyppiä. Huoneisto-osalla 123x300 k600 sekä kylpyhuonemoduuliosalla 173x300 k300. Tämä rakennekerros on välipohjan pääkannatin ja se toimii myös ilma- jousena huoneistojen välillä.

5.2 Moduuliyläpohja

Kuvassa 7 rakennekerros 8 on 22x100 k200 harvalaudoitus, ja se suojaa moduulin yläpohjaa sekä toimii asennuksen aikaisena työtasona. Harvalaudoitus kiinnitetään moduuliyläpohjankannatinpalkiston yläpintaan nau-laamalla. Harvalaudoitusta ei voida korvata levyrakenteella, koska sillä olisi todennäköisesti negatiivinen vaikutus välipohjan äänitekniseentoimivuuteen, sillä yhteys ilma- jousen sekä äänieristeenä toimivan mineraalivillale- vyn välillä katkeaisi ja levyrakenteen muodostaisi yhtenäisen kaikupinnan. Asennuksen aikainen sääsuojaus asennetaan harvalaudoituksen varaan.

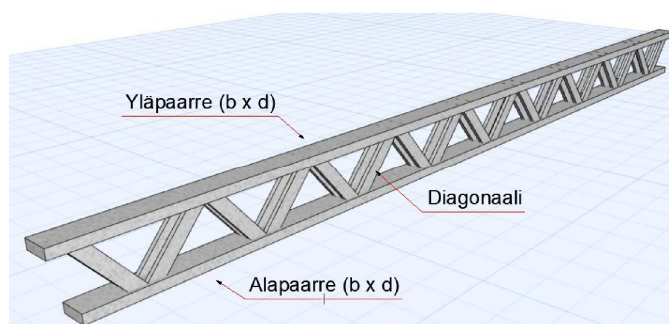
Moduulirunkoa koottaessa moduuliyläpohjankannatinpalkisto toimii suurelementin runkona, johon moduuliyläpohjarakenteen muut kerrokset kiinnitetään mekaanisesti. Kannatinpalkistona toimii k300 48x148 sahata- vara C24. Palkiston tehtävä on kannattaa moduulin sisäkattoa. Palkkivä- leissä 100 mm mineraalivilla toimii äänieristeenä.

Kannatinpalkistiin kiinnitetään naulaamalla lautakoolaus, johon sisäkaton verhoukseen levytys kiinnitetään ruuvaamalla. Sisäverhouksena toimii kaksin- kertainen palonsuojakipsilevy GFL15. Sisäverhous toimii välipohjaraken- teen alapuolisena palosuojauksena, mikäli välipohjan alapuolisessa huoneistossa syttyy huoneistopalo. Paloa osastoivan välipohjan eristävyysvaati- mus EI60.

6 RISTIKKOPALKKI

6.1 Rakenne

Ristikkopalkin materiaali on C24 lujuusluokitettu sahatavara. Ristikkopalkki koostuu ylä- ja alapaarteista, sekä paarrelankut yhteen sitovista diagonaalirimoista. Ristikkopalkissa diagonaalirimoja käytetään 1 tai 2 rinnakkain riippuen niiden sijainnista kuormitusalueella. Diagonaalit liittyvät sormiliitoksella paarrelankkuihin. Sormiliitoksen varmistukseen käytetään polyuretaaniliimaa. Ristikkopalkin osat liitetään toisiinsa paineilmapuristimella. Parrevahvuus d on 42 mm. Tavallisimmin käytetyt parreleveydet b ovat yleisesti käytössä olevat mitallistetun sahatavaran leveydet, kuten 73, 98, 123, 148, 173 ja 198.



Kuva 8. Ristikkopalkin rakenne

Toisin kuin tavanomaisilla puupalkeilla, palkin korkeus h ei ole sidottu tavaran toimittajan ennalta määrittämiin palkkikokoihin, vaan ristikkopalkin korkeutta voidaan säätää tilaajan tarpeen mukaan. Ristikkopalkin lujuusominaisuuksia voidaan muokata muuttamalla palkin kokonaiskorkeutta h sekä muuttamalla parreleveyttä b .

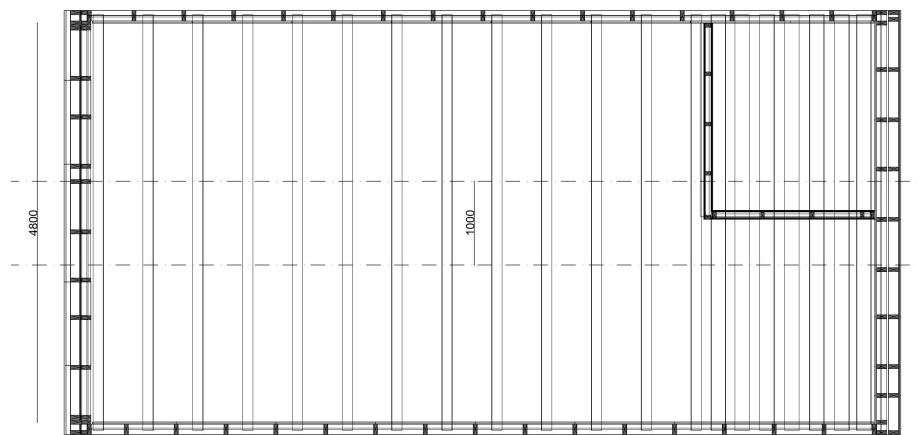
Ristikkopalkin rakenteen vuoksi palkit on tilattava määrämittäisinä, eikä niitä voida lyhentää, kuin ennalta määritetyistä kohdista. Kyseinen ominaisuus ei muodostu ongelmaksi tarkkaa ennakkosuunnittelua vaativassa moduulituotannossa.

Lujuusominaisuuksista taivutus- sekä tukipainekestävyys ovat ristikkopalkin vahvuuksia. Moduulituotannossa välipohjapalkiston osalta mitoittavaksi tekijäksi muodostuvat palkin leikkauskestävyys tuella sekä välipohjan kevyen rakenteen vuoksi värähtelytaajuus.

6.2 Poikittaisjäykistelinjat

Välipohjarakenteen jäykkyyttä voidaan parantaa poikittaisjäykisteillä. Välipohjapalkiston ollessa yli 4 m on käytettävä kahta poikittaisjäykistettä. Poikittaisjäykistelinjat sijoitetaan palkiston keskiväliin 1 m etäisyydellä toisistaan. Poikittaisjäykisteillä on välipohjan lujuusominaisuuksien kannalta edullinen vaikutus sekä taipumatarkastelun että värähtelyn kannalta. (Puuinfo, 2018, 22.)

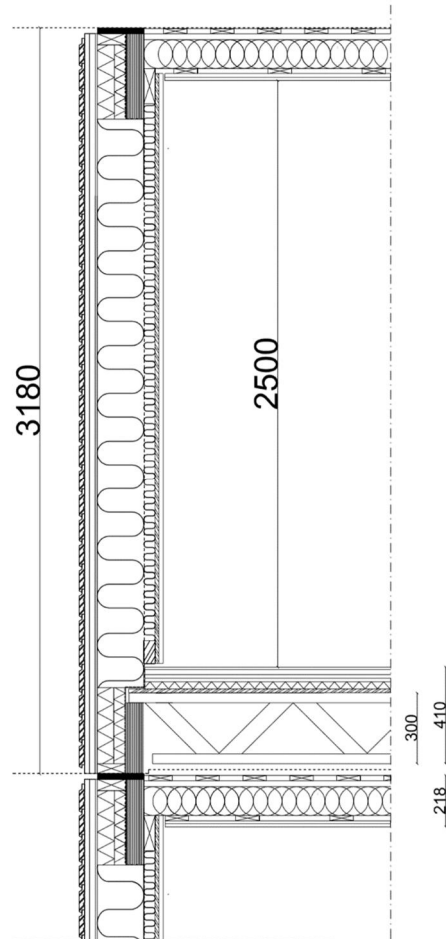
Poikittaisjäykisteenä käytettävä palkki vastaa korkeudeltaan h palkiston korkeutta. Poikittaisjäykistelinjan vedetyssä pinnassa käytetään vetolautaa. (Puuinfo, 2018, 22.)



Kuva 9. Välipohjapalkiston poikittaisjäykistelinjat

6.3 Välipohjapalkiston suurin korkeus moduulituotannossa

Työn tilaajan toimesta moduulin korkeus on rajoitettu 3,2 m. Välipohjarakenteelle asetettujen teknisten vaatimusten sekä asuinhuoneiston vähimmäiskorkeuden 2,5 m, vuoksi välipohjapalkiston korkeus h rajoittuu 300 mm (Ympäristöministeriön asetus asuin-, majoitus- ja työtiloista Ympäristöministeriön asetus asuin-, majoitus- ja työtiloista 2017/1008 §4).



Kuva 10. Moduulin huoneistokorkeus

7 RISTIKKOPALKIN KUORMIEN MÄÄRITYS

Välipohjapalkistolle kohdistuvien kuormitusten perusteella välipohja jakautuu kahteen osaan; huoneisto-osaan sekä kylpyhuonemoduuliosaan. Tässä kappaleessa eritellään näille kahdelle osalle kohdistuvat kuormat. Mitoituslaskelmissa käytettävät rakenneosalle kohdistuvien käyttörajatilan kuormien vaikutus tarkastellaan kussakin tapauksessa rakenneosan kannalta epäedullisimmassa paikassa.

7.1 Hyötykuormat ja pistekuorma F

Hyötykuorma on rakennuksen tilojen käytöstä aiheutuvaa tasaista kuormitusta, joka määräytyy rakennuksen käyttötarkoituksen sekä rakenneosan mukaan. Rakennus lukeutuu tilaluokkaan A, ja mitoitettava rakenneosa on välipohja, joten mitoitusskennassa käytettävä kuorman arvo on $2,0 \text{ kN/m}^2$. (Puuinfo, 2018, 11.)

Hyötykuorma q_k on voimassa saman suuruisena moduulivälipohjan molemmilla mitoitettavissa osissa, huoneisto- sekä kylpyhuonemoduuliosalla. Hyötykuorma q_{k2} 4,5 kN/m² kohdistuu ainoastaan moduulivälipohjan kylpyhuonemoduuliosalle. Kuorma q_{k2} on kylpyhuonemoduulivalmistajan ilmoittama rakennusosan kuorma, mutta mitoituksessa sitä käsitellään kuten hyötykuormaa, koska sen vaikutus rakenneosalle jakautuu epätasaisesti, eikä sillä katsota olevan rakenteelle jäykistävää vaikutusta.

Yksinkertaistetussa värähtelymitoituksessa tarkastellaan 1kN staattisesta pistevoimasta aiheutuvaa suurinta hetkellistä taipumaa välipohjarakenteelle. (Puuinfo, 2010, 36.)

7.2 Omakuorma g_k

Välipohjarakenteen omasta painosta aiheutuva kuormitus lasketaan materiaalityyppien ilmoittamien ominaisarvojen perusteella. Taulukossa 1 on eritelty rakennetyypin kunkin kerroksen kuormitus neliometriä kohden.

Kannatinpalkiston sekä palkistoon kansivanerin kuormana on käytetty kuivalle havupuulle, ja liimaamalla valmistetun rakennusmateriaalin lyhenne-työn suunnitteluohjeessa määritettyä tilavuuspainoa 5,0 kN/m³. (Puuinfo, 2018, 10.)

Taulukossa 1 eriteltynä huoneisto-osan rakenteen omakuorma q_k 0,75 kN/m², ja kylpyhuonemoduuliosan q_k 0,4 kN/m².

Taulukko 1. Välipohjarakenteen omakuorma

Huoneisto-osa

Kerrospaksuus mm	Materiaali	tarkennus	valmistaja	kN/m ²
10	laminaatti			0,08
22	lastulevy	ympäri pontattu	Koskifloor	0,15
15	kipsilevy	lapikas	Gyproc	0,15
15	kipsilevy	lapikas	Gyproc	0,15
18	vaneri	5 kN/m ³		0,09
300	ristikkopalkisto k600	5 kN/m ³	Teeri-kolmio	0,12
380				0,75

Kylpyhuonemoduuliosa

Kerrospaksuus mm	Materiaali	tarkennus	valmistaja	kN/m ²
18	vaneri	5 kN/m ³		0,09
300	ristikkopalkisto k300	5 kN/m ³	Teeri-kolmio	0,31
318				0,40

7.3 Kuormitusyhdistelmä murtorajatilassa ja kuormien varmuuskertoimet

Moduulivälipohjan murtorajatilamitoituksessa kuormitusyhdistelmänä käytetään keskipitkää aikaluokkaa, joka määrittää käytettävät varmuuskertoimet. Mitoitettavalle rakenneosalle kohdistuu rakenteen oman kuorman lisäksi tilojen käytöstä aiheutuva hyötykuorma. Kylpyhuonemoduuliosalla oman kuorman sekä hyötykuorma lisäksi välipohjapalkistolle kohdistuu kylpyhuonemoduulin aiheuttama epätasainen kuorma.

Murtorajatilamitoituksessa käytettävä kuormitusyhdistelmä (Puuinfo, 2018, 9.):

Keskipitkä aikaluokka:

$$1,15G_{kj} + 1,5Q_{k,1} + 1,05Q_{k,2} \quad (1)$$

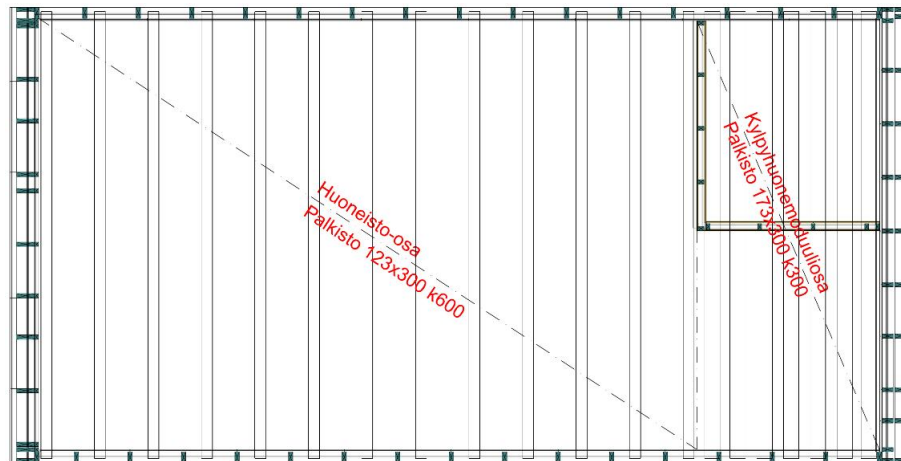
Keskipitkän aikaluokan kuormitusyhdistelmässä mitoitettavan rakenteen omasta painosta aiheutuvan kuorman q_k varmuuskertoimena käytetään (μ_2): 1,15.

Hyötykuorman varmuuskertoimena käytetään (μ_1): 1,5. Kylpyhuonemoduuliosalla voimassa on tilojen käytöstä aiheutuvan hyötykuorman lisäksi hyötykuormana käsiteltävä q_{k2} . Mikäli kuormitusalueella vaikuttaa samanaikaisesti kaksi hyötykuormaa on suurempi hyötykuorma määräävä ja sen vaikutusta kasvatetaan varmuuskertoimella (μ_1): 1,5. Kylpyhuonemoduuliosalla tilojenkäytöstä aiheutuvaa hyötykuorma q_k kasvatetaan varmuuskertoimella (μ_3): 1,05.

7.4 Kuormituskaavio

Moduulivälipohja jakautuu kahteen kuormitusalueeseen, huoneistoosaan, ja kylpyhuonemoduuliosaan. Huoneisto-osalla käytettävä ristikkopalkisto on 123x300 k600. Huoneisto-osalle kohdistuvat käyttörajatila kuormat ovat q_k 0,75 kN/m² sekä q_k 2,0 kN/m².

Kylpyhuonemoduuliosalla käytetään palkistoa 173x300 k300. Tälle kuormitusalueelle kohdistuu kuorma g_k 0,4 kN/m² sekä huoneisto-osasta poiketen kaksi hyötykuormaa, q_k 2,0 kN/m², ja q_{k2} 4,5 kN/m², joista jälkimmäinen on määräävä.



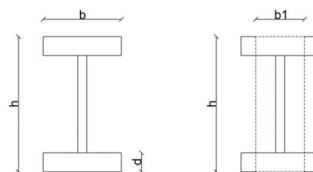
Kuva 11. Moduulivälipohjan kuormituskaavio

8 MODUULIVÄLIPOHJAN MITOITUS

Tässä opinnäytetyössä mitoitetaan moduulin välipohjapalkisto Puuinfo Oy:n laatiman Eurokoodi 5:n puurakenteiden lyhennetyn suunnitteluohjeen neljännen painoksen mukaan. Moduulivälipohjan suunnittelussa keskeiset mitoitettavat lujuusominaisuudet ovat tukipaine- ja leikkausvoimakkestävyys sekä taipumatarkastelu, ja värähtelytaajuuden määrittäminen. Lujuuslaskelmat käydään läpi esimerkinomaisesti. Kylpyhuonemoduuli-osan mitoitustulokset ovat liitteessä 1, ja huoneisto-osan mitoitustulokset ovat liitteessä 2.

8.1 Ristikkopalkin mitoitusleveys

Jotta ristikkopalkki voidaan mitoittaa lyhennetyn suunnitteluohjeen mukaan, on ristikkopalkkia käsiteltävä kuin suorakaiteen muotoista palkkia. Palkin ylä- ja alapaarten jäyhyysmomentti on suhteutettava palkin kokonaiskorkeuteen. Mitoitusleveys saadaan kaavalla 1, jossa d on parrepaksuus, b on parreleveys, sekä h palkin korkeus. (Jylänki, haastattelu 22.4.2019.)



Kuva 12. Ristikkopalkin poikkileikkaus

Moduulivälipohjan kylpyhuonemoduuliosalla käytettävän ristikkopalkin 173x300 mitoitusleveys b_1 on 108 mm. Huoneisto-osalla palkin 123x300 mitoitusleveys b_1 on 77 mm. Mitoituksessa käytettävä palkin korkeus h säilyy muuttumattomana.

$$b=173\text{mm} \quad h=300\text{mm} \quad d=42\text{mm}$$

$$\frac{b \cdot [h^3 - (h - 2 \cdot d)^3]}{h^3} = 108 \text{ mm} \quad (2)$$

8.2 Ristikkopalkin materiaaliominaisuudet

Mitoituksessa käytettävät materiaalin sahatavara C24 ominaisarvot:

- Virumaluku sahatavaralle taipumatarkastelua varten k_{def} 0,6 (Puuinfo, 2018, 17)
- Kimmomoduuli Emean 11000 N/mm² (Puuinfo, 2018, 17)
- Tukipainekerroin k_{c90} 1,25 (Puuinfo, 2018, 24)
- Leikkausvoimakestävyys $f_{v,k}$ 4 N/mm² (Puuinfo, 2018, 17)
- Puristuskestävyys $f_{c,90,k}$ 2,5 N/mm² (Puuinfo, 2018, 17)
- Materiaalin osavarmuusluku sahatavaralle γ_M 1,4 (Puuinfo, 2018, 15)
- Materiaalin muunnoskerroin k_{mod} on 0,8 (Puuinfo, 2018, 17)

8.3 Ristikkopalkin taipumatarkastelu

Mitoitettavan välipohjarakenne lukeutuu suunnitteluohjeen mukainen käyttöluokkaan 1, eli rakenne sijaitsee sisätiloissa vakaisissa lämpötila- ja kosteusolosuhteissa (Puuinfo, 2018, 15). Suorakaiteen muotoisen palkin jäyhyysmomentti lasketaan kaavalla 3 (Puuinfo, 2010, 36). Ristikkopalkki mitoitetaan kuin suorakaiteen muotoinen palkki käyttäen palkin mitoitusleveyttä b_1 (Jylänki, haastattelu 22.4.2019).

$$I_y := \frac{b \cdot h^3}{12} \quad (3)$$

8.3.1 Sallittu taipuma

Välipohjan pääkannattimen suurin sallittu lopullinen taipuma $W_{net,fin}$ on $l/300$, jossa l on palkiston jänneväli. (Puuinfo, 2018, 21.) Lopullinen taipuma lasketaan kunkin kuormituksen (omakuorma g , hyötykuorma q , hyötykuorma q_2) hetkellisen taipuman yhdistelmällä, jossa tekijä k_{def} on pitkäaikaisen taipuman virumaluku, kaavalla 4 (Puuinfo 2010, 46). Lopullisen

taipuman kuormitustapauksessa kylpyhuonemoduulista aiheutuvaa hyötykuormaa q_2 käsitellään rakenteelle epäedullisesti, kuin omakuorma g , sillä kuorma rakenteelle säilyy muuttumattomana, toisin kuin, hyötykuorma q , eikä sen virumaa laskennallisesti pienennetä, kuten tilojen käytöstä johtuvaa varsinaista hyötykuormaa.

$$W_{fin} := (1 + k_{def}) \cdot w_{inst.g} + (1 + 0.3 \cdot k_{def}) \cdot w_{inst.q} + (1 + k_{def}) \cdot w_{inst.q2} \quad (4)$$

8.3.2 Hetkellinen taipuma

Jokaisesta kuormasta lasketaan hetkellinen taipuma kaavalla 5. Suurin sallittu lopullinen taipuma W_{sall} moduulivälipohjan palkistolle kylpyhuonemoduuliosalla 4800 mm jännevälillä on 16 mm. Laskennallinen lopputaipuma palkistolle 173x300 k300 on 7,8 mm, eli palkiston käyttöaste lopputaipuman suhteen on 48 %.

Taipumatarkastelussa huomioidaan kuormien hetkellisen taipuman yhteisvaikutus sekä puun vimumisesta aiheutuva taipuma.

$$w_{inst.g} := \frac{5 \cdot s \cdot g_k \cdot L^4}{384 \cdot E_{mean} \cdot I_y} \quad (5)$$

8.4 Leikkausvoimakestävyys

Ristikkopalkki tukeutuu moduulirunkoon yläpaarteestaan 42x173 kylpyhuonemoduuliosalla. Ristikkopalkin rakenteen vuoksi leikkausvoimakestävyys on keskeinen mitoitettava tekijä välipohjapalkiston lujuuden kannalta. Kuorman aiheuttama leikkausvoima käyttörajatilassa määritetään kaavalla 7. Leikkausvoiman mitoitusarvo V_d saada laskemalla yhteen kuormitusyhdistelmän määräämillä varmuuskertoimilla kasvatetut käyttörajan leikkausvoimat (kaava 8).

$$V_{qk} := \frac{q_k \cdot s \cdot L}{2} \quad (7)$$

$$V_d := \mu_3 \cdot V_{qk} + \mu_2 \cdot V_{gk} + \mu_1 \cdot V_{q2k} \quad (8)$$

Leikkausvoimamitoituksessa, käytettäessä käyttöluokka 1 mukaista sahatavaraa, huomioidaan mahdolliset poikkeavuudet materiaalissa, pienentämällä mitoitettavan palkin leveyttä b , kertoimella 0,67. Näin saadaan mitoitisuusleveys b_{ef} (Puuinfo, 2018, 25). Käytettäessä 173x300 mm ristikkopalkkia, b_{ef} on 116 mm.

Sahatavara C24 leikkauskestävyys on 4 N/mm². Mitoituksessa käytettävä suunnitteluarvo f_{vd} , määritetään kaavalla 9, jossa materiaalin muunnoskerroin k_{mod} on 0,8. Materiaalin osavarmuusluku γ_M käytettäessä sahatavaraa on 1,4. (Puuinfo, 2010, 22.)

$$f_{vd} := \frac{f_{vk} \cdot k_{mod}}{\gamma_M} \quad (9)$$

8.4.1 Leikkausjännitys

Jotta mitoitusehto toteutuu, on palkin leikkausjännityksen T_d oltava käytännössä pienempi kuin leikkauskestävyyden mitoitusarvo f_{vd} (Puuinfo, 2010, 22). Käytetyllä palkkikoolla (173x300) leikkausvoimakapasiteetin käyttöaste on 90%.

$$\tau_d := \frac{3}{2} \cdot \frac{V_d}{b_{ef} \cdot h} \leq f_{vd} := \frac{f_{vk} \cdot k_{mod}}{\gamma_M} \quad (10)$$

8.5 Tukipainekestävyys ja tehollinen kosketuspinta

Ristikkopalkin tukipinnan pituus syiden suunnassa l on 65 mm. Moduulirungon alapalkki, johon ristikkopalkki tukeutuu yläpaarteestaan, on kertosuuta, jonka tukipainekestävyys syrjällään on parempi kuin sahatavaralla, joten ristikkopalkin tukipainekestävyys on syytä tarkastaa.

Perinteisen sahatavarapalkin tehollisen kosketuspinnan pituus l_{c90ef} saadaan lisäämällä 30 mm syiden suunnassa tukipinnan molemmin puolin. Ristikkopalkin tukipainekestävyydenmitoituksessa palkin poikkeuksellisen rakenteen vuoksi käytettävä l_{c90ef} on sama kuin tukipinnan pituus syiden suunnassa l . (Puuinfo, 2018, 24.)

8.5.1 Mitoitusehto tukipainekestävyydelle

Puristusjännitys $\sigma_{c,90,d}$ palkin yläpaarteessa on oltava käytännössä pienempi, kuin palkin puristuslujuus syiden suunnassa $f_{c,90,edge,d}$ kerrottuna

tukipaine kertoimella $k_{c,90}$ 1,25. Kylpyhuonemuoduliosalla 173x300 k300 ristikkopalkiston käyttöaste tukipainekestävyydelle on 34%.

$$\sigma_{c90d} \leq k_c \cdot f_{c90d} \quad (11)$$

$$\frac{\sigma_{c90d}}{k_c \cdot f_{c90d}} \cdot 100 = 34 \% \quad (12)$$

8.5.2 Puristusjännitys ja puristuslujuus syiden suunnassa

Puristusjännitys $\sigma_{c,90,d}$ määritetään kaavalla 13, jossa on leikkausvoiman aiheuttaman tukireaktion A_d murtorajatilan mitoitusarvo. A_d on kaikkien voimassa olevien kuormien varmuuskertoimilla kasvatettujen mitoitusarvojen yhdistelmä. Eurokoodi 5 lyhennetty suunnitteluohjeen taulukko 3.3 antaa sahatavara C24 puristuslujuudeksi f_{c90k} 2,5 N/mm². Jossa k_{mod} 0,8 sekä materiaalin osavarmuusluku γ_M 1,4. (Puuinfo, 2018, 17.)

$$\sigma_{c90d} := \frac{A_d}{b \cdot l} \quad (13)$$

$$A_d := A_{qk} \cdot \mu_1 + A_{gk} \cdot \mu_2 + \mu_3 \cdot A_{qk2} \quad (14)$$

$$f_{c90d} := \frac{f_{c90k} \cdot k_{mod}}{\gamma_M} \quad (15)$$

8.6 Värähtely

Asuinrakennuksessa, huoneistojen välisen välipohjan värähtelytaajuus f_1 on oltava 9 Hz tai suurempi (Puuinfo, 2018, 23). Värähtelytaajuus määritetään kaavalla 16, jossa m kuormien kokonaismassa neliometriä kohden (Puuinfo, 2018, 22). Ristikkopalkistolla 173x300 k300 moduulivälipohjarakenteen värähtelytaajuus on 9,6 Hz.

$$f_1 := \frac{\pi}{2 \cdot L^2} \cdot \sqrt{\frac{EI_L}{s \cdot m}} = 9.6 \text{ Hz} \quad (16)$$

Värähtelymitoituksessa huomioidaan palkistoon liimatun 18 mm vanerilevyn jäykistävä vaikutus EI_T (kaava 17). Liimauksen liitovaikutuksesta huomioidaan kuitenkin vain 50 % (kaava 19). EI_p on materiaalin jäyhyysmomentin sekä kimmomoduulintulo (kaava 18).

$$EI_T := (2.2 - 0.1 \cdot L) \cdot (0.4 + s) \cdot (EI_p) \quad (17)$$

$$EI_p := E_{\text{mean}} \cdot I_y \quad (18)$$

$$EI_L := 0.5 \cdot (EI_p + EI_T) \quad (19)$$

8.7 Sallittu taipuma pistekuormasta

Puurakenteisen välipohjan suurin sallittu taipuma 1 kN pistekuormasta 0,5 mm (kaava 20). Kylpyhuonemoduulinosalla laskennalliseksi taipumaksi saadaan 0,8 mm, eli mitoitusehto ei täyty. Hetkellisen taipuman arvoa voidaan kuitenkin pienentää kaavalla 21, sillä muuttujien k_b ja k_s ehdot täyttyvät. (Puuinfo, 2018, 23.)

Välipohjassa on kaksi poikittaisjäykistelinjaa, joiden korkeus h on 300 mm. Poikittaisjäykistelinjojen alapinnoissa vetolaudat 22x100 sahatavaran lujuusluokitus oltava vähintään C18, sekä 18 mm kansivaneri täyttää ehdon kansivanerin vahvuus t yhtä suuri tai suurempi kuin palkkijako s jaettuna arvolla 20. (Puuinfo, 2018, 22.) Kaavan 21 mukaisesti välipohjan laskennallinen taipuma 1 kN pistekuormasta on 0,3 mm kylpyhuonemoduuliosalla, jonka palkisto 173x300 k300.

$$\delta_L := \frac{F \cdot L^3}{48 \cdot EI_L} \quad (20)$$

$$k_b \cdot k_s \cdot \delta_L = 0.3 \text{ mm} \quad (21)$$

9 YHTEENVETO

9.1 Lujuuslaskelmien yhteenveto

Taulukoissa 2 ja 3 on koostettu välipohjapalkiston mitoituksen kannalta oleelliset mittatiedot, kokonaiskuormat sekä lujuusominaisuuksien käyttöasteet. Taulukossa mainittavat mittatiedot ovat palkkijako, jänneväli, ja käytettävän palkin poikkileikkauksen dimensiot. Kun käytössä on ristikkopalkki, poikkileikkauksen mittoina käytetään parraleveyttä sekä palkin kokonaiskorkeutta. Palkkijako on välipohjarakenteen pääkannattimien keskinäinen etäisyys toisistaan palkin poikkileikkauksen keskeltä mitattuna. Käyttöasteella kuvataan palkiston kapasiteettia suhteessa kuormitukseen kyseisellä osa-alueella. Jänneväli on rakenteen kannattama vapaa välimatka tuelta tuelle.

Yhteenvetotaulukoissa välipohjan värähtelytaajuus on annettu lujuuslaskelman tulos, jotta rakennetta voidaan verrata suoraan muihin välipohjarakenteisiin, joiden värähtelytaajuus on määritetty. Taulukon tietoja hyödyntäen voidaan laatia arvio toteutustavan kannattavuudesta rakennushankkeen hankesuunnitteluvaiheessa.

Taulukko 2. Yhteenvedo kylpyhuonemoduuliosalle

Ristikkopalkki	173x300
Kuormitusalue	Kylpyhuonemoduuliosa
Jänneväli	4800 mm
Palkkijako	300 mm
Kuormat yhteensä	6,9 kN/m ²
Lujuusominaisuus	Käyttöaste
Taivutuskestävyys	36 %
Leikkausvoimakestävyys	90 %
Tukipainekestävyys	33 %
Taipumatarkastelu	48 %
Värähtely	9,6 Hz

Taulukko 3. Yhteenveto huoneisto-osalle

Ristikkopalkki	123x300
Kuormitusalue	Huoneisto-osa
Jänneväli	4800 mm
Palkkijako	600 mm
Kuormat yhteensä	2,75 kN/m ²
Lujuusominaisuus	Käyttöaste
Taivutuskestävyys	42 %
Leikkausvoimakestävyys	23 %
Tukipainekestävyys	38 %
Taipumatarkastelu	48 %
Värähtely	12 Hz

9.2 Ristikkopalkin soveltuvuus moduulituotantoon

Tyyppimoduulin välipohja mitoiltaan sisämitoiltaan 4,8 x 9,4 metriä, voidaan toteuttaa hyödyntäen kahta ristikkopalkkikokoa. Huoneisto-osalla, josta suurin osa moduulin pohjan pinta-alasta koostuu, voidaan käyttää 123x300 k600 ristikkopalkkistoa. Kylpyhuonemoduuliosalla, jossa kuormitukset ovat suuremmat, on käytettävä 173x300 k300 ristikkopalkkistoa, jotta huoneistovälipohjan vaaditut lujuusominaisuudet saavutetaan. Kylpyhuonemoduuliosalla lujuusominaisuuksien kannalta mitoittaviksi tekijöiksi muodostuvat leikkausvoimakestävyys sekä välipohjarakenteen värähtelytaajuus, muilta osin lujuuskapasiteettiä on riittämiin. Lujuuslaskelmien perusteella ristikkopalkin vahvuuksina voidaankin pitää hyvää taivutus- sekä tukipainekestävyyttä.

Merkittävänä etuna ristikkopalkin käytössä on sen muunneltavuus. Muutamalla paarrekokoa voidaan palkiston lujuusominaisuuksia säädellä tietyssä määrin, ilman että palkiston korkeutta kasvatetaan tai palkiston oma kuorma kasvaa niin suureksi, että moduulin rakenteita on muilta osin vahvistettava.

Välipohjarakenteen suunnittelua merkittävästi ohjaava tekijä on käytössä oleva tuotantotapa. Moduulin suurimmaksi sallituksi korkeudeksi on tilaajan toimesta määritetty 3,2 m, joka vähimmäishuonekorkeus huomioiden 2,5 m määrää rakenteen kokonaisvahvuuden. Siksi on tärkeää, että välipohjarakennetta suunniteltaessa käytössä on tuote, jolla saavutetaan tuotantotapaa palveleva rakenne palkistonkorkeuden rajoitteista huolimatta.

Lujuuslaskelmien tulosten perusteella voidaan todeta, että Teeri-Kolmio Oy:n puuristikkopalkki soveltuu lujuusominaisuuksiensa puolesta kerrostalomoduurirakentamiseen. Moduurirakentamiseen on sovellettava taloudellisesti kilpailukykyisiä, mutta riittävän lujia materiaaleja, joiden oma kuorma ei muodostu rasitteeksi moduulin koko rakenteen kannalta.

Rakenteita suunniteltaessa on materiaalikustannusten sekä rakenteellisen toimivuuden kannalta huomioitava myös rakenteen valmistuksesta aiheutuvat kustannukset. Rakenteen valmistamiseen kuluvat resurssit on kyettävä minimoimaan, jotta rakenne on kannattavaa toteuttaa. Teknisesti toimivaa ja materiaaleiltaan kustannustehokasta rakennetta ei ole välttämättä kannattavaa toteuttaa, jos käytettävät valmistusmenetelmät ovat aikaa vieviä ja tuotantoprosessi on tarpeettoman monivaiheinen.

Rakenne on suunniteltava huomioiden käytössä oleva tuotantotapa. Rakenteiden suunnittelu on tasapainottelua näiden osa-alueiden välimaastossa ja suunnittelijan kyettävä löytämään tilaajaa parhaiten palveleva rakenneratkaisu.

Tutkimuksen lisäksi tämän opinnäytetyön toinen pääteema on tuotekehitys, jonka päämääränä on löytää rakenneratkaisu, joka soveltuu kerrostalomoduurituotantoon ja täyttää markkinoiden asettamat vaatimukset nykyaikaiselle asuntorakentamiselle.

Levyrakenteinen kaksiosainen moduulivälipohjarakenne on suunniteltu täyttämään vaaditut rakennusmääräykset, huomioiden asukasviihtyvyyden sekä soveltumaan esivalmisteperusteiseen moduurituotantoon pyrkiä myksenä luoda kompromissi materiaalikustannusten sekä tuotantoon kuluhan ajan suhteen.

LÄHTEET

Lindbäcks Bygg AB, Lindbäcks Arkitekt manual, 2017

Haettu 15.3.2019 osoitteesta:

http://lindbacks.se/wp-content/uploads/2018/09/Lindbäcks_Arkitektmanual_2017_FINAL.pdf

Puuinfo Oy, 2018, Eurokoodi 5 lyhennetty suunnitteluohje

Haettu 15.3.2019 osoitteesta:

<https://www.puuinfo.fi/eurokoodi-5-lyhennetty-suunnitteluohje>

Puuinfo Oy, 2010, EC5 sovelluslaskelmat

Haettu 5.3.2019 osoitteesta:

<https://www.puuinfo.fi/sites/default/files/content/rakentaminen/eurokoodit-ja-standardit/ec5-sovelluslaskelmat-asuinrakennus/ec5-sovelluslaskelmat-asuinrakennus0.pdf>

Puuinfo Oy, 2019, Hyvä tietää puun käytön ympäristövaikutuksista

Haettu 3.3.2019 osoitteesta:

<https://www.puuinfo.fi/sites/default/files/content/tee-se-itse/ohjeita-omatoimirakentajille/hyva-tietaa-puun-kayton-ymparistovaikutuksista/hyva-tietaa-puun-kayton-ymparistovaikutuksista-web.pdf>

Puuinfo Oy, 2013, Moduulirakentamisesta ratkaisu kohtuuhintaiseen asumiseen

Haettu 5.3.2019 osoitteesta:

<https://www.puuinfo.fi/tiedote/moduulirakentamisesta-ratkaisu-kohtuuhintaiseen-asumiseen>

RT 82-10838 (2005). Puukerrostalon rakenteet, Rakennustieto Oy

Haettu 7.5.2019 osoitteesta:

<https://kortistot.rakennustieto.fi/kortit/RT%2082-10838>

Ympäristöministeriön asetus asuin-, majoitus- ja työtiloista 1008/2017

Haettu 7.5.2019 osoitteesta:

<https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2017/20171008>

Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta 1010/2017

Haettu 8.5.2019 osoitteesta:

<https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2017/20171010>

HAASTATTELUT

Alanen, H. (2019). Tehdaspäällikkö, YIT Suomi Oy. Haastattelu 28.3.2019

Jylänki, H. (2019). Tuotantopäällikkö, Teeri-Kolmio Oy. Haastattelu 22.4.2019

Ristikkopalkin mitoitus kylpyhuonemuodulos

materiaali C24

 $b := 108\text{mm}$ $h := 300\text{mm}$

KÄYTTÖLUOKKA 1

Kuormat

$$q_k := 2.0 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$g_k := 0.4 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$q_2 := 4.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

palkiston jänneväli

palkiston k-jako

varmuuskertoimet

$$L := 4.8\text{m}$$

$$s := 0.3\text{m}$$

$$\mu_1 := 1.5$$

$$\mu_2 := 1.15$$

$$\mu_3 := 1.05$$

Maksimimomentti

$$M_{qk} := \frac{q_k \cdot s \cdot L^2}{8} = 1.728 \text{m}^2 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$M_{gk} := \frac{g_k \cdot s \cdot L^2}{8} = 0.346 \text{m}^2 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$M_{q2} := \frac{q_2 \cdot s \cdot L^2}{8} = 3.888 \text{m}^2 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Taivutuskestävyys

materiaalin osavarmuusluku

$$\gamma_M := 1.4$$

muunnoskerroin

$$k_{mod} := 0.8$$

taivutuksen ominaislujuus

$$f_{mk} := 24 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$M_d := \mu_2 \cdot M_{gk} + \mu_3 \cdot M_{qk} + \mu_1 \cdot M_{q2} = 8.044 \text{ m}^2 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$\sigma := \frac{6 \cdot M_d}{b \cdot h^2} = 4.965 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$f_{md} := \frac{f_{mk} \cdot k_{mod}}{\gamma_M} = 13.714 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Mitoitusehto $\sigma \leq f_{md}$

Käyttöaste $\frac{\sigma}{f_{md}} \cdot 100 = 36.206 \quad \%$

Maksimi
leikkausvoima

$$V_{qk} := \frac{q_k \cdot s \cdot L}{2} = 1.44 \cdot \text{kN} \quad V_{q2k} := \frac{q_2 \cdot s \cdot L}{2} = 3.24 \cdot \text{kN} \quad V_{gk} := \frac{g_k \cdot s \cdot L}{2} = 0.288 \cdot \text{kN}$$

$$V_d := \mu_3 \cdot V_{qk} + \mu_2 \cdot V_{gk} + \mu_1 \cdot V_{q2k}$$

$$\underline{b} := 173 \text{ mm} \quad \underline{h} := 42 \text{ mm}$$

Leikkausvoimakestävyys

$$b_{ef} := b \cdot 0.67 = 115.91 \cdot \text{mm}$$

$$f_{vk} := 4 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad \tau_d := \frac{3}{2} \cdot \frac{V_d}{b_{ef} \cdot h} = 2.065 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$f_{vd} := \frac{f_{vk} \cdot k_{mod}}{\gamma_M} = 2.286 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Mitoitusehto $\tau_d \leq f_{vd}$

Käyttöaste $\frac{\tau_d}{f_{vd}} \cdot 100 = 90.361 \%$

Tukipainekestävyys

tukipinnan pituus
syiden suunnassa $l := 65 \text{ mm}$

$$f_{c90k} := 2.5 \frac{N}{\text{mm}^2}$$

tukireaktio

$$A_{gk} := V_{gk} \quad A_{qk} := V_{qk} \quad A_{q2k} := V_{q2k}$$

$$A_d := A_{qk} \cdot \mu_3 + A_{gk} \cdot \mu_2 + \mu_1 \cdot A_{q2k} = 6.703 \cdot \text{kN}$$

kc90 kerroin sahatavaralle $k_{c90} := 1.25$

$$\sigma_{c90d} := \frac{A_d}{b \cdot l} = 0.596 \cdot \frac{N}{\text{mm}^2}$$

$$f_{c90d} := \frac{f_{c90k} \cdot k_{mod}}{\gamma_M} = 1.429 \cdot \frac{N}{\text{mm}^2}$$

Tehollinen
kosketuspinta

$$l_{c90ef} := l = 65 \cdot \text{mm}$$

tukipaine kerroin

$$k_c := \frac{l_{c90ef}}{l} \cdot k_{c90} = 1.25$$

$$\text{Mitoitusehto} \quad \sigma_{c90d} \leq k_c \cdot f_{c90d}$$

$$\text{käyttöaste} \quad \frac{\sigma_{c90d}}{k_c \cdot f_{c90d}} \cdot 100 = 33.382 \quad \%$$

Taipumatarkastelu

$$g_{kk} := 2.0 \frac{kN}{m^2} \quad g_{sk} := 0.3 \frac{kN}{m^2} \quad q_{2k} := 4.5 \frac{kN}{m^2}$$

$$L := 4.8m \quad s := 0.3m$$

$$E_{mean} := 11000 \frac{N}{mm^2} \quad k_{def} := 0.6 \quad \psi_2 := 0.3$$

$$b := 108mm \quad h := 300mm \quad I_y := \frac{b \cdot h^3}{12}$$

Hetkellinen taipuma

$$w_{inst.g} := \frac{5 \cdot s \cdot g_k \cdot L^4}{384 \cdot E_{mean} \cdot I_y} = 0.233 \text{ mm}$$

$$w_{inst.q} := \frac{5 \cdot s \cdot q_k \cdot L^4}{384 \cdot E_{mean} \cdot I_y} = 1.552 \text{ mm}$$

$$w_{inst.q2} := \frac{5 \cdot s \cdot q_{2k} \cdot L^4}{384 \cdot E_{mean} \cdot I_y} = 3.491 \text{ mm}$$

Lopputaipuma

$$W_{fin} := (1 + k_{def}) \cdot w_{inst.g} + (1 + 0.3 \cdot k_{def}) \cdot w_{inst.q} + (1 + k_{def}) \cdot w_{inst.q2} = 7.789 \cdot mm$$

Sallittu
taipuma

$$W_{sall} := \frac{L}{300} = 16 \cdot mm$$

Mitoituseht
o

$$W_{fin} \leq W_{sall}$$

KÄYTTÖAST
E

$$\frac{W_{fin}}{W_{sall}} \cdot 100 = 48.679 \quad \%$$

Hetkellinen taipuma 1kN pistekuormasta

$$F := 1000$$

$$L := 4800$$

$$k_b := 0.5$$

$$\delta_L := \frac{F \cdot L^3}{48 \cdot EI_L} = 7.8 \times 10^5$$

$$k_s := \sqrt{\left(\frac{0.3}{0.6}\right)} = 0.7$$

$$k_b := 0.5$$

$$\delta_L := 0.8$$

$$k_b \cdot k_s \cdot \delta_L = 0.3 \quad mm$$

$$k_b \cdot \delta_L = 0.4 \quad mm$$

Värähtelymitoitus kylpyhuonemuoduliosa

$$b := 108 \quad h := 300 \quad I_y := \frac{b \cdot h^3}{12} = 2.4 \times 10^8$$

$$E_{\text{mean}} := 11000 \quad \underline{\underline{L}} := 4.8 \quad \underline{\underline{s}} := 0.3$$

$$g_k := 0.4 \quad q_k := 2 \quad q_{2k} := 4.5 \quad \psi_2 := 0.3$$

$$EI_p := E_{\text{mean}} \cdot I_y = 2.7 \times 10^{12}$$

$$EI_T := (2.2 - 0.1 \cdot L) \cdot (0.4 + s) \cdot (EI_p)$$

$$EI_L := 0.5 \cdot (EI_p + EI_T) = 2.9 \times 10^{12}$$

$$\underline{\underline{g_1}} := 400 \quad \underline{\underline{L}} := 4.8 \quad \underline{\underline{q_{2k}}} := 4500$$

$$\underline{\underline{m}} := \frac{g_k + q_{2k}}{9.81} = 499.5 \quad \underline{\underline{EI_L}} := 2.946 \cdot 10^6$$

$$f_1 := \frac{\pi}{2 \cdot L^2} \cdot \sqrt{\frac{EI_L}{s \cdot m}} = 9.6 \quad \text{Hz}$$

Mitoituslaskelmat, välipohjapalkisto, huoneisto-osa

Liite 2/1

Ristikkopalkin mitoitus huoneisto-osalle

materiaali C24

 $b := 77\text{mm}$ $h := 300\text{mm}$

KÄYTTÖLUOKKA 1

Kuormat

$$q_k := 2.0 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$g_k := 0.75 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$\underline{\underline{L}} := 4.8\text{m}$$

$$\underline{\underline{s}} := 0.6\text{m}$$

$$\mu_1 := 1.5$$

$$\mu_2 := 1.15$$

Maksimimomentti

$$M_{qk} := \frac{q_k \cdot s \cdot L^2}{8} = 3.456 \text{m}^2 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$M_{gk} := \frac{g_k \cdot s \cdot L^2}{8} = 1.296 \text{m}^2 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Taivutuskestävyys

Osavarmuusluku

$$\gamma_M := 1.4$$

Muunnoskerroin

$$k_{mod} := 0.8$$

Taivutuksen ominaislujuus

$$f_{mk} := 24 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$M_d := \mu_2 \cdot M_{gk} + \mu_1 \cdot M_{qk} = 6.674 \text{m}^2 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$\sigma := \frac{6 \cdot M_d}{b \cdot h^2} = 5.779 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$f_{md} := \frac{f_{mk} \cdot k_{mod}}{\gamma_M} = 13.714 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Mitoitusehto $\sigma \leq f_{md}$

Käyttöaste $\frac{\sigma}{f_{md}} \cdot 100 = 42.136 \quad \%$

Maksimi leikkausvoima

$$V_{qk} := \frac{q_k \cdot s \cdot L}{2} = 2.88 \cdot kN \qquad V_{gk} := \frac{g_k \cdot s \cdot L}{2} = 1.08 \cdot kN$$

$$V_d := \mu_1 \cdot V_{qk} + \mu_2 \cdot V_{gk} = 5.562 \cdot kN$$

Leikkausvoimakestävyys

$$b_{ef} := b \cdot 0.67 = 51.59 \cdot mm$$

$$f_{vk} := 4 \frac{N}{mm^2} \qquad \tau_d := \frac{3}{2} \cdot \frac{V_d}{b_{ef} h} = 0.539 \cdot \frac{N}{mm^2}$$

$$f_{vd} := \frac{f_{vk} \cdot k_{mod}}{\gamma_M} = 2.286 \cdot \frac{N}{mm^2}$$

Mitoitusehto $\tau_d \leq f_{vd}$

Käyttöaste $\frac{\tau_d}{f_{vd}} \cdot 100 = 23.584 \quad \%$

Tukipainekestävyys

tukipinnan pituus syiden suunnassa $l := 65\text{mm}$

$$\underline{b} := 123\text{mm} \quad f_{c90k} := 2.5 \frac{N}{\text{mm}^2}$$

tukireaktio

$$A_{gk} := V_{gk} \quad A_{qk} := V_{qk}$$

$$A_d := A_{qk} \cdot \mu_1 + A_{gk} \cdot \mu_2 = 5.562 \cdot \text{kN}$$

kc90 kerroin sahatavaralle $k_{c90} := 1.25$

$$\sigma_{c90d} := \frac{A_d}{b \cdot l} = 0.696 \cdot \frac{N}{\text{mm}^2} \quad f_{c90d} := \frac{f_{c90k} \cdot k_{mod}}{\gamma_M} = 1.429 \cdot \frac{N}{\text{mm}^2}$$

Tehollinen
kosketuspinta

$$l_{c90ef} := l = 65 \cdot \text{mm}$$

tukipaine kerroin

$$k_c := \frac{l_{c90ef}}{l} \cdot k_{c90} = 1.25$$

Mitoitusehto

$$\sigma_{c90d} \leq k_c \cdot f_{c90d}$$

käyttöaste

$$\frac{\sigma_{c90d}}{k_c \cdot f_{c90d}} \cdot 100 = 38.958 \quad \%$$

Taipumatarkastelu

$$q_k := 2.0 \frac{kN}{m^2} \quad g_k := 0.75 \frac{kN}{m^2} \quad L := 4.8m \quad s := 0.6m$$

$$E_{mean} := 11000 \frac{N}{mm^2} \quad k_{def} := 0.6 \quad \psi_2 := 0.3$$

$$b := 77mm \quad h := 300mm \quad I_y := \frac{b \cdot h^3}{12}$$

Hetkellinen taipuma

$$w_{instG} := \frac{5 \cdot 0.6 \cdot g_k \cdot L^4}{384 \cdot E_{mean} \cdot I_y} = 1.632 \frac{l}{m} \cdot mm \quad w_{instQ} := \frac{5 \cdot 0.6 \cdot q_k \cdot L^4}{384 \cdot E_{mean} \cdot I_y} = 4.352 \frac{l}{m} \cdot mm$$

Lopputaipuma

$$W_{fin} := (1 + k_{def}) \cdot w_{instG} + (1 + \psi_2 \cdot k_{def}) \cdot w_{instQ} = 7.747 \frac{l}{m} \cdot mm$$

$$\text{Sallittu taipuma} \quad W_{sall} := \frac{L}{300} = 16 \cdot mm$$

$$\text{Mitoitusehto} \quad W_{fin} \leq W_{sall}$$

$$\text{KÄYTTÖASTE} \quad \frac{W_{fin}}{W_{sall}} \cdot 100 = 48.419 \frac{l}{m} \quad \%$$

Värähtelymitoitus
huoneisto-osa

$$b := 77 \quad h := 300 \quad g_k := 0.75 \quad \underline{L} := 4.8$$

$$I_y := \frac{b \cdot h^3}{12} = 1.732 \times 10^8 \quad q_k := 2 \quad \underline{s} := 0.6$$

$$E_{\text{mean}} := 11000 \quad \psi_2 := 0.3$$

$$EI_p := E_{\text{mean}} \cdot I_y = 1.906 \times 10^{12}$$

$$EI_T := (2.2 - 0.1 \cdot L) \cdot (0.4 + s) \cdot (EI_p) = 3.278 \times 10^{12}$$

$$EI_L := 0.5 \cdot (EI_p + EI_T) = 2.592 \times 10^{12}$$

$$\underline{g}_k := 750 \quad \underline{L} := 4.8 \quad \underline{q}_k := 2000$$

$$\underline{m} := \frac{g_k + q_k \cdot \psi_2}{9.81} = 137.615 \quad \underline{EI}_L := 2.592 \cdot 10^6$$

$$f_1 := \frac{\pi}{2 \cdot L^2} \cdot \sqrt{\frac{EI_L}{s \cdot m}} = 12.079 \quad \text{Hz}$$

Hetkellinen taipuma 1kN pistekuormasta

$$F := 1000$$

$$L := 4800$$

$$k_b := 0.5$$

$$\delta_L := \frac{F \cdot L^3}{48 \cdot EI_L} = 8.889 \times 10^5$$

$$k_s := \sqrt{\left(\frac{0.6}{0.6}\right)} = 1$$

$$k_{lv} := 0.5$$

$$\delta_{L_{kv}} := 0.8$$

$$k_b \cdot k_s \cdot \delta_L = 0.4 \quad \text{mm}$$

Laskelma laadittu Kyndata Oy:n Cads Planner House (Standard pro) -ohjelmistolla (versio 17.0.5).

U-arvon laskenta

Rakennekerroksen lisäys

Tasa-aineinen rakennekerros

Materiaali: Polyuretaanilevy Lambda: 0.022

Epätasa-aineinen rakennekerros

1. materiaali: Lambda: Leveys: mm

2. materiaali: Lambda: Leveys: mm

Ainekerroksen paksuus: 120 mm

Määritetty rakenne

Rakenteen ulkopuoli

Materiaali	Lambda	Paks...	R
Puu	0.14	23	
Tuuletettu ilmarako	-1	45	
Kipsilevy	0.23	9	0.039
Polyuretaanilevy	0.022	120	5.454
Muovikalvo	0	0.2	0
Puu	0.14	63	0.449

Rakenteen sisäpuoli

Pintavastukset

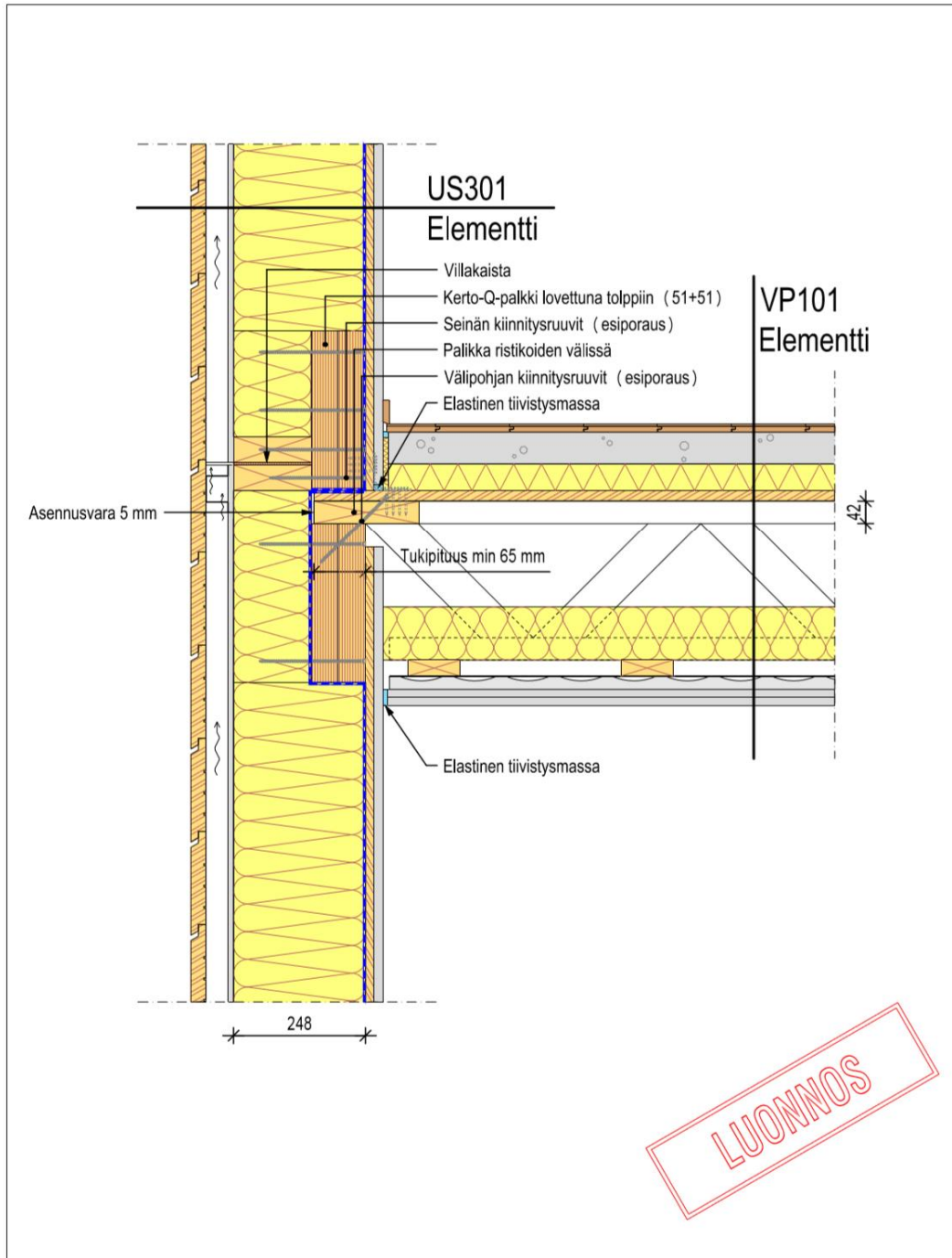
Sisä: Vaakasuora 0.13 (m²K)/W

Ulko: Vaakasuora 0.04 (m²K)/W

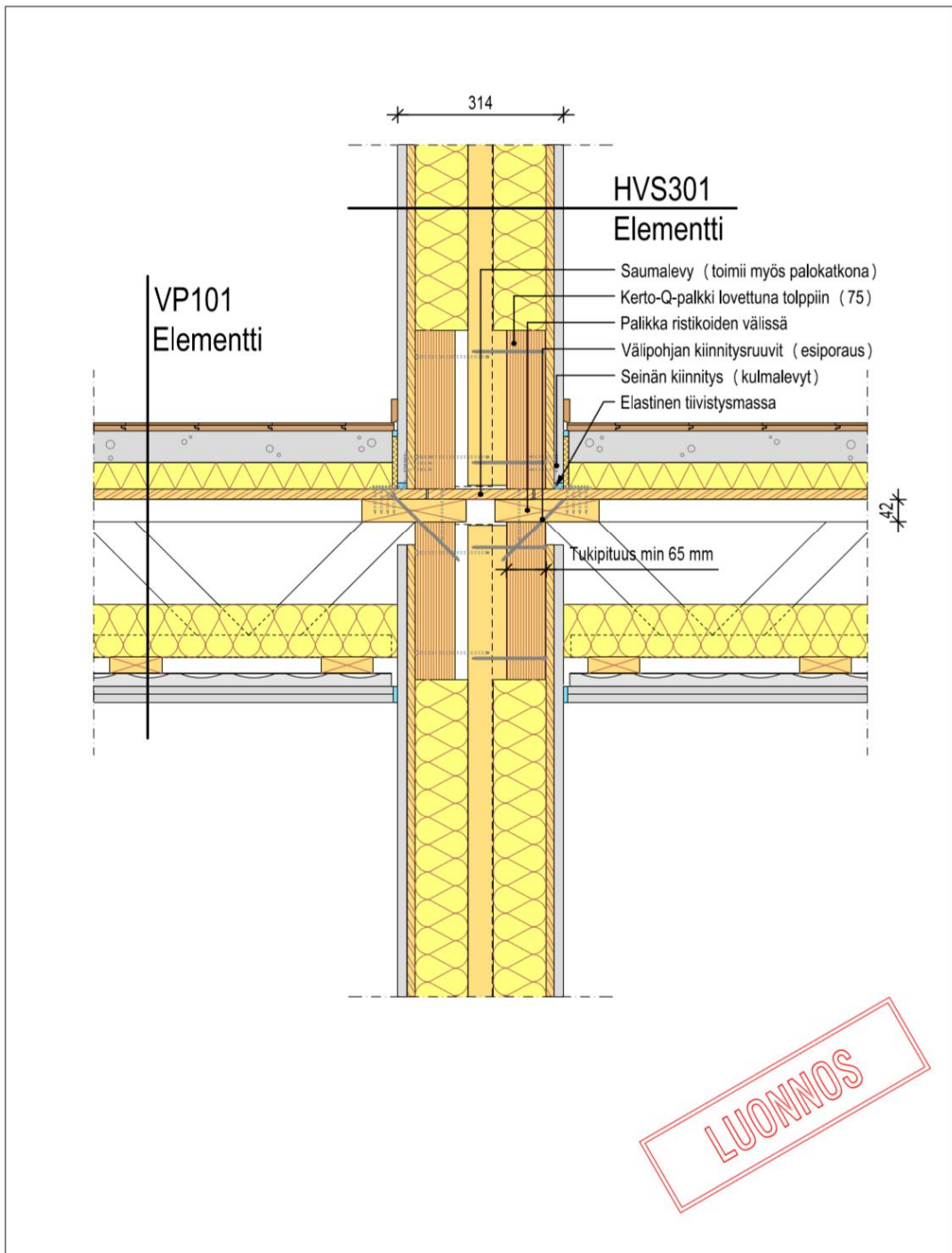
Tulokset

Rakenteen kokonaispaksuus = 260.2 mm
 Lämmönvastus (RT) = 6.11 m²K/W
 U-arvo = 0.163 W/(m²K)

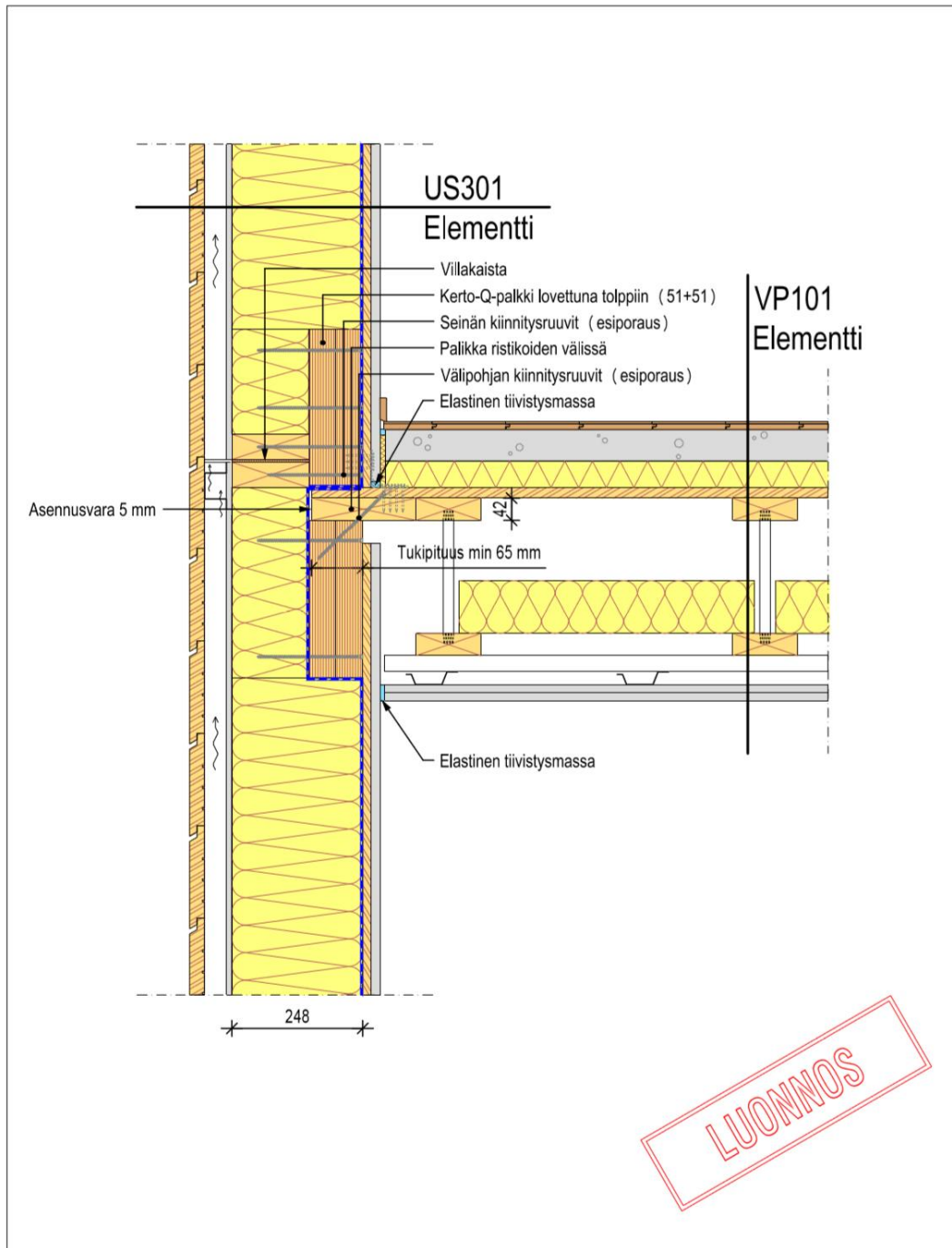
	TYÖN NRO	TUNNUS
	PÄIVÄYS 15.5.2018	TEKIJÄ DV301
RAKENNUSKOHTEEN NIMI JA OSOITE Periaatepiirros	PIIRUSTUKSEN SISÄLTÖ Yli 2-kerroksisen kerrostalon välipohja P2-paloluokka	



	TYÖN NRO	TUNNUS
	PAIVÄYS 15.5.2018	TEKIJÄ
RAKENNUSKOHTEEN NIMI JA OSOITE Periaatepiirros	PIIRUSTUKSEN SISÄLTÖ Yli 2-kerroksisen kerrostalon välipohja P2-paloluokka	
		DV302



	TYÖN NRO	TUNNUS
	PÄIVÄYS 15.5.2018	TEKIJÄ
RAKENNUSKOHTEEN NIMI JA OSOITE Periaatepiirros	PIIRUSTUKSEN SISÄLTÖ Yli 2-kerroksisen kerrostalon välipohja P2-paloluokka	
DV303		





Gyproc GFL FireLine

Erikoislevy paloluokiteltuihin rakenteisiin.

Laajat käyttösovellutukset.

Yhdellä levykerroksella jopa 30 minuutin palonkesto-aika (GFL 18).

Kipsikartonkilevyn helppo työstettävyys ja asennettavuus.

Erottuu pinkillä värillään varastossa ja työmaalla.



www.gyproc.fi



Gyproc GFL 15 FireLine

Tuotetieto

Kartonkipintainen palokipsilevy, joka soveltuu uudis- ja korjaus-rakentamiseen. Paksuus 15 mm. Kohteisiin, joissa tarvitaan erityistä palonkestoa.

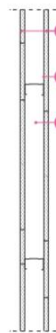
Hyväksynät

EN 520 standardin DF-luokitus
Rakennustarvikeluokan A2-s1, d0.
CE-merkintä, M1-sisäilmaluokitus ja
DoP-suoritusasoilmoitus.



Käyttökohteet

Väliseinät, ulkoseinien sisäpinnat ja kattopinnat.



Gyproc GS - Teräsrunkoinen väliseinä

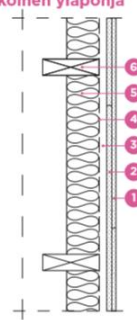
1. Kisko Gypsteel SK 66 (lattiassa ja katossa)
2. Rangat Gypsteel ELPR 66/40, k 600 mm
3. Kipsilevy 15 mm Gyproc GFL 15 FireLine

Palonkestoluokka: EI 60 / Ilmaääneneristävyys
R'w: 30 dB / Seinän maksimikorkeus: 3000 mm

Gyproc Puurunkoinen yläpohja

1. Kipsilevy 15 mm Gyproc GFL 15 FireLine (levysaumot limitettävä)
2. Kipsilevy 15 mm Gyproc GFL 15 FireLine (levysaumot limitettävä)
3. Harvalauta $\geq 21 \times 45$, k 400 mm
4. 0,2 mm höyrynsulkumuovi
5. Väh. 100 mm mineraalivilla ISOVER KL-33 tai vastaava
6. Kantava palkisto, väh. 48 x 173, C24, k ≤ 900 mm

Palonkestoluokka: REI 60 / Ilmaääneneristävyys: R'w 30-35 dB



Gyproc GFL 18 FireLine

Tuotetieto

Kartonkipintainen palokipsilevy, joka soveltuu uudis- ja korjaus-rakentamiseen. Paksuus 18 mm. Kohteisiin, joissa tarvitaan erityistä palonkestoa.

Hyväksynät

EN 520 standardin DF-luokitus
Rakennustarvikeluokan A2-s1, d0.
CE-merkintä, M1-sisäilmaluokitus ja
DoP-suoritusasoilmoitus.

Käyttökohteet

Ulkoseinät, roiloseinät, ullakot, paloräystäät ja putkikulut. Yhdellä levykerroksella väliseinän palonkestoluokka EI30 tai suojaverhouluokka K2 30.

Gyproc GS - Teräsrunkoinen väliseinä



1. Kisko Gypsteel SK 66 (lattiassa ja katossa)
2. Rangat Gypsteel ELPR 66/40, k 600 mm
3. Kipsilevy 18 mm Gyproc GFL 18 FireLine

Palonkestoluokka EI 30 / Ilmaääneneristävyys R'w: 25-30 dB /
Seinän maksimikorkeus: 3000 mm