



Karelia-ammattikorkeakoulu  
Insinööri (AMK), Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka

# **Puu- ja hybridivälipohjien akustiikka ja laadunvarmistus**

Jonne Primetta

Opinnäytetyö, Joulukuu 2024

[www.karelia.fi](http://www.karelia.fi)



**OPINNÄYTETYÖ**  
**Joulukuu 2024**  
**Rakennustekniikan koulutus**

Tikkarinne 9  
80200 JOENSUU  
+358 13 260 600 (vaihde)

Tekijä  
Jonne Primetta

Nimeke  
Puu- ja hybridivälipohjien akustiikka ja laadunvarmistus

Toimeksiantaja  
Karelia AMK

**Tiivistelmä**

Tässä opinnäytetyössä perehdyttiin puu- ja hybridivälipohjien akustisiin ominaisuuksiin ja rakenneratkaisuihin akustiikan näkökulmasta. Opinnäytetyön tavoitteena on tunnistaa hyviä rakennusteknisiä ratkaisuja ääneneristävyyden hallintaan puurakenteisissa välipohjissa, sekä saada kokemuseräistä tietoa puuvälipohjien asennuksesta rakennustyömaalla.

Opinnäytetyö toteutettiin tutkimuksena, jonka teoriaosuudessa hyödynnetään alan ammattilaisten tuottamaa kirjallisuutta ja virallisten tahojen laatimia ohjeistuksia ja määräyksiä. Teoriaosuudessa käydään läpi äänen ja akustiikan ominaisuuksia, välipohjien akustiikkaan asetettuja määräyksiä ja puu- ja hybridivälipohjien rakenneratkaisumenetelmiä, joilla ääneneristävyyttä saadaan parannettua ilma- ja askeläänieristyksen osalta. Tutkimusosa suoritettiin haastattelemalla rakennusalan toimihenkilöä ja, selvitettiin puu- ja hybridivälipohjien asennuksen onnistumista rakennustyömaalla.

Välipohja on yksi haastavimmista suunnittelu- ja toteutusosista puurakentamisessa. Puurakennuksissa akustinen suunnittelu on tärkeässä asemassa, koska se vaikuttaa olennaisesti myös asuin- ja käyttömukavuuteen.

Kieli  
suomi

Sivuja 32

Asiasanat  
puuvälipohja, akustiikka, ääneneristävyys



**THESIS**  
**December 2024**  
**Degree Programme in Construction engineering**

Tikkarinne 9  
80200 JOENSUU  
FINLAND  
+ 358 13 260 600 (switchboard)

Author  
Jonne Primetta

Title  
The acoustics and quality assurance of wooden and hybrid intermediate floors.

Commissioned by  
Karelia AMK

#### Abstract

This thesis examines the acoustic properties and structural solutions of wooden and hybrid intermediate floors from an acoustic perspective. The aim of the thesis is to identify effective construction solutions for managing sound insulation in wooden intermediate floors, as well as to gain experiential knowledge about the installation of wooden intermediate floors at the construction site.

The thesis is conducted as a study, with the theoretical section utilizing literature produced by industry professionals and guidelines and regulations established by official authorities. The theoretical section covers the properties of sound and acoustics, regulations related to the acoustics of intermediate floors, and structural solutions for wooden and hybrid intermediate floors that improve sound insulation in terms of air sound and impact sound insulation. The research part was carried out by interviewing a construction industry professional to investigate how the installation of wooden and hybrid intermediate floors was accomplished at the construction site.

The intermediate floor is one of the most challenging aspects of design and implementation in wooden construction. In wooden buildings, acoustic design plays a crucial role, as it significantly affects living and usability comfort.

Language  
Finnish

Pages 32

#### Keywords

wooden intermediate floor, acoustics, soundproofing

# Sisältö

Käsitteet.....	5
1 Johdanto.....	6
1.1 Opinnäytetyön toteutus ja valinta.....	6
1.2 Opinnäytetyön tavoite, rajaus sekä tutkimusmenetelmät.....	6
2 Puuvälipohjan rakenne.....	7
2.1 CLT.....	7
2.2 Palkkivälipohja.....	8
2.3 Ripa-, avokotelolaatta.....	10
3 Ääni ja ääneneristävyys.....	11
3.1 Ääni.....	11
3.2 Äänentaajuus ja voimakkuus.....	12
3.3 Ilmaääneneristävyys.....	13
3.4 Askeläänieristävyys.....	15
3.5 Matala- ja korkeataajuuslattiat.....	16
3.6 Ympäristöministeriön asetus rakennuksen ääniympäristöstä.....	17
4 Välipohjarakenteiden rakenneratkaisut ääneneristävyiden parantamiseksi.....	18
4.1 Yksin- ja kaksinkertainen rakenne.....	18
4.2 Massalaki.....	19
4.3 Lattiapinnoite ja kelluvalattiarakenne.....	20
4.4 Jousirankakatto.....	21
4.5 Tärinäeristimien käyttö sivutiesiirtymien estämiseksi.....	22
5 Opinnäytetyön toteutus ja käytetyt menetelmät.....	24
6 Haastattelujen tulokset.....	26
6.1 Valmistelu ja suunnittelu.....	26
6.2 Asennusolosuhteet.....	27
6.3 Asennusprosessi ja ongelmat.....	27
6.4 Ratkaisut ongelmiin.....	28
6.5 Asennusporukan kokemus ja palaute.....	29
6.6 Äänitekniinen toimivuus.....	29
6.7 Mahdolliset korjaustoimenpiteet.....	30
7 Pohdinta.....	30
Lähteet.....	32

## Käsitteet

**CLT:** Cross laminated timber, eli ristiinliimattu puulevy. (Puuinfo 2023.)

**Ominaistaajuus:** Taajuus, jolla värähtely on voimakkainta värähtelijässä. (Lahtela, Kylliäinen, Lietzén, Kovalainen & Talus 2021.)

**Ilmaääni:** Ääni, joka leviää ympäristöön ilman välityksellä. (Lahtela ym. 2021.)

**Runkoääni:** Rakenteessa etenevä mekaaninen värähtely, joka aiheuttaa ilmaääntä. (Lahtela ym. 2021.)

**Askelääni:** Muihin tiloihin kuuluva runkoääni. (Lahtela ym. 2021.)

**Taajuus:** Kuultavan äänen korkeus. Mitataan värähtelysyklien määränä sekunnissa eli hertseinä. (Lahtela ym. 2021.)

**Äänenpainetaso  $L_p$ :** Hetkellisen äänen kokonaispaineen mitta tarkastelupisteessä (Lahtela ym. 2021.)

**Ilmaääneneristävyys:** Ilmaisee kuinka tehokkaasti rakenne estää äänen siirtymisen tilasta toiseen. (Lahtela ym. 2021.)

**Askelääneneristävyys:** Rakennusosan kyky eristää lattiarakenteeseen kohdistetun iskun ääntä. (Lahtela ym. 2021.)

# 1 Johdanto

## 1.1 Opinnäytetyön toteutus ja valinta

Opinnäytetyön aiheena on puu- ja hybridivälipohjien akustiikka ja laadunvarmistus. Opinnäytetyö suoritettiin tutkimuksena, jossa lähdekirjallisuutena käytetään virallisten tahojen, sekä alan ammattilaisten tuottamia tutkimuksia ja määräyksiä. Opinnäytetyö tehtiin toimeksiantona Karelia ammattikorkeakoulun PuuHyvä hankkeelle. Hankkeen tarkoituksena on tutkia puu- ja hybridirakenteisen välipohjatuotteiden rakennusakustiikkaa, värähtelyä ja elinkaaren päästöjä.

Puurakentamisessa välipohja on kilpailukyvyn kannalta tärkeä ja keskeinen rakennusosa, sillä siihen liittyy runsaasti vaatimuksia, kuten kantavuus, värähtely, palonkesto sekä ilma- ja askeläänieristävyys. Välipohja koostuu useasta kerroksesta eri materiaaleja, puu on yleensä kantavana rakennusosana ja erilaisia ratkaisuja ja toteuttamistapoja on monia.

## 1.2 Opinnäytetyön tavoite, rajaus sekä tutkimusmenetelmät

Opinnäytetyön aihe valikoitui lisääntyvän puurakentamisen vuoksi. Suomi pyrkii hiilineutraaliksi vuoteen 2035 mennessä. Poliittiset linjaukset ilmastonmuutoksen torjuntaan heijastuvat myös rakennusalaan ja puurakentamiseen panostetaan, sillä sen uskotaan olevan yksi tehokkaimmista keinoista minimoida rakennusten aiheuttamia päästöjä. (Huhtanen 2021.)

Tässä työssä perehdytään erilaisiin toteuttamisratkaisuihin puu- ja hybridivälipohjissa ja niiden vaikutuksiin rakennusakustiikassa. Opinnäytetyössä tutkitaan lähiaikoina valmistuneiden rakennuskohteiden puu- ja hybridivälipohjia ja toteutetaan työmaanjohtoon haastattelu välipohjan asennustyöhön. Opinnäytetyön tavoitteena on tunnistaa hyviä rakennusteknisiä ratkaisuja ääneneristävyys hallintaan puurakenteisissa välipohjissa, sekä saada kokemukseräistä tietoa puuvälipohjien asennuksesta rakennustyömaalla.

## 2 Puuvälipohjan rakenne

Puurakentamisessa välipohja on yksi vaikeimmista suunnittelu- ja toteutusvaiheista. Välipohjalla tarkoitetaan sitä osaa, joka sijaitsee alakerran katon ja yläkerran lattian välissä. Välipohjaan kuuluu useita kerroksia erilaisia materiaaleja. Puurakenteinen osa toimii yleensä kantavana rakennusosana. Erilaisia ratkaisuja ja toteutustapoja puurakenteisen välipohjan rakentamiseen on runsaasti. Suunnittelussa on otettava huomioon paloturvallisuus, akustiikka ja värähtelyominaisuudet. (Matveinen 2023.)

Yleisimmät puurakenteiset välipohjat ovat rakenteeltaan palkkivälipohjia, CLT-elementtivälipohjia tai viilupuu valmistettuja ripalaattoja tai avokotelolaattoja.

### 2.1 CLT

Cross laminated timber eli ristiinliimattu puutavara levy. CLT-levy koostuu ristiin liimatuista lautakerroksista. Yleisimmin lautakerroksia on kolme tai viisi, mutta kerrosten määrä voi olla myös suurempi. CLT-levy on ominaisuuksiltaan kevyt rakennuslevy, joka on erittäin luja ja jäykkä, sekä paloa hyvin kestävä. (Puuinfo 2023.)



Kuva 1. Crosslam CLT-levyn rakenne viidellä lamellikerroksella. (Crosslam 2024.)

CLT- levyjen valmistustekniikoita on useita erilaisia. Levyissä laudat voidaan vakuumi liimata toisiinsa tyhjiön avulla tai liimaus voidaan suorittaa puristamalla levyt prässien avulla. Liimausmenetelmiä on kahta eri tyyppiä, levyt liimataan joko syrjäliimaamalla tai ilman syrjäliimausta. Syrjäliimatusta levytyypissä laudat liimataan ensin yhteen syrjistään, minkä jälkeen ne asetellaan päällekkäin ristiin. Toisessa liimaustavassa, jossa syrjäliimausta ei käytetä, laudat ladotaan ristiin ja liima levitetään vain lautojen lappeelle. (Puuinfo 2023.)

## **2.2 Palkkivälipohja**

Puurakenteinen palkkivälipohja voidaan toteuttaa useilla materiaaleilla. Lattiakannattajina eli välipohjan kantavana rakenteena voidaan käyttää liimapuu-, viilupuu-, sahatavara, uumalevy- tai ristikkopalkkeja. Puurakenteisen välipohjan runko koostuu palkistosta, jonka päälle asennetaan lattiarakenteet, vastaavasti palkiston alle asennetaan alakatto ja palkiston välitila eristetään. Välipohjien rakennetyypit valitaan ottaen huomioon jännemitat, paloturvallisuus- ja ääneneristysvaatimukset. (Viljakainen 2005, 22.)

Liimapuulla tarkoitetaan puutuotetta, joka on valmistettu liimaamalla yhteen useita lamelleja. Liimapuu koostuu vähintään kahdesta enintään 45 millimetriä paksusta sahatavaralamellista, joiden syysuunta on liimapuutuotteen pituussuunnassa. Tyypillisesti liimapuun ylä- ja alareunan lamelleihin käytetään vahvempaa lujuusluokan sahatavaraa ja vastaavasti keskiosa valmistetaan heikomman lujuusluokan materiaalista. (Puuinfo 2020.)



Kuva 2. Liimapuuta. (Puuinfo 2020.)

Viilupuuta on rakenteellinen puutuote, joka valmistetaan liimaamalla sorvatuista viiluista. Sitä käytetään laajasti uudis- ja korjausrakentamisessa. Viilupuuta voidaan käyttää kantaviin rakenteisiin, kuten palkkeihin ja pilareihin ja se soveltuu jäykistäväksi osaksi rakennuksissa. Viilupuuta valmistetaan liimaamalla kolmen millimetrin paksuisia viiluja yhteen. Viilujen syysuunta voi olla joko pituussuunnassa tai osa viiluista voidaan liimata ristiin, riippuen lopputuotteen vaatimuksista. Viilupuuta soveltuu jännevälialueille 5–12 metriä. (Puuinfo 2020.)



Kuva 3. Metsä Woodin Kerto® LVL palkkeja. (Metsä Group 2024.)

### 2.3 Ripa-, avokotelolaatta

Ripalaatta soveltuu hyvin rakenteisiin, joilla on lyhyt jänneväli. Ripalaatta koostuu yhtenäisestä kannesta ja rakenneliimatuista rivoista. Ripalaatta voidaan käyttää jäykistävänä rakenteena ja se soveltuu välipohjille, joiden jänneväli on alle 4 metriä. (VVR Wood 2024.)



Kuva 4. Ripalaatta. (VVR Wood 2024.)

Avokotelolaatta soveltuu esimerkiksi asuinrakennusten, toimistojen, koulujen ja päiväkotien välipohjaksi, joiden jänneväli on vähintään neljä metriä ja enintään kahdeksan metriä. Avokotelolaattaa toimii välipohjan jäykistävänä rakenteena ja on rakennekorkeudeltaan matala ja jäykkä rakenneratkaisu. (VVR Wood 2024.)

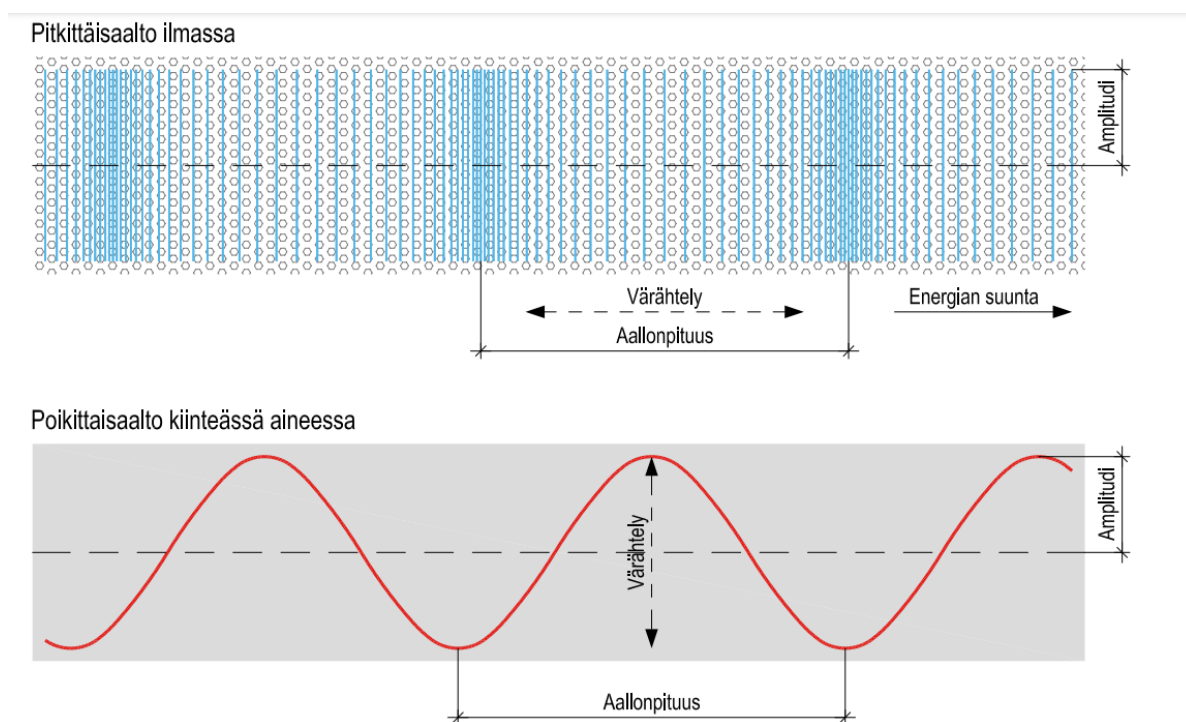


Kuva 5. Avokotelolaatta. (VVR Wood 2024.)

### 3 Ääni ja ääneneristävyys

#### 3.1 Ääni

Ääni ilmenee aaltoliikkeenä väliaineessa, jossa se etenee. Väliaineena voi olla kaasu, neste tai kiinteä aine. Ilmassa ääni kulkee pitkittäisaaltona, kun taas kiinteissä aineissa ääni etenee pitkittäis- sekä poikittaissuuntaisina aaltona. Kuvassa 6 ilmenee äänen etenemisen periaate. Äänen nimitys määräytyy sen mukaan, missä väliaineessa se etenee. (Lahtela, Kylliäinen, Lietzén, Kovalainen & Talus 2021, 6.)



Kuva 6. Pitkittäis- ja poikittäisaallon periaate. (Lahtela ym. 2021, 6.)

Ääntä, joka etenee ilmassa kutsutaan ilmaääneksi. Ilmaääni havaitaan kuuloaistilla, kun äänentaajuus on välillä 20–20000 hertsiä. Voimakkaat matalataajuiset värähtelyt voidaan aistia myös tärinä kehon kautta. (Lahtela ym. 2021, 6.)

Rakennuksen rungossa etenevää ääntä kutsutaan runkoääneksi. Runkoääni ja ilmaääni ovat keskinäisessä vuorovaikutuksessa, sillä ne synnyttävät toisiaan. Käytännössä rakennusosan värähtely aiheuttaa ympäröivän ilman värähtelyä, mikä tuottaa ilmaääntä. Vastaavasti rakennusosaan kohdistuva ilmaääni saa rakennusosan värähtelemään, jolloin syntyy runkoääntä, joka etenee rakennusosaa pitkin. (Lahtela ym. 2021, 6.)

### 3.2 Äänentaajuus ja voimakkuus

Äänentaajuus kuvaa ääniaallon värähtelyjen määrää sekunnissa.

Äänentaajuuden yksikkö on hertsi [Hz]. Korkeampi äänentaajuus tarkoittaa nopeampia värähtelyjä ja siten korkeamman äänen korkeutta, jonka kuulemme. Normaalin kuulon omaavan ihmisen kuuloalue on taajuusalueella 20–20000 hertsiä. Äänentaajuuden ollessa riittävän korkea tai matala, ihminen ei pysty havaitsemaan sitä kuuloaistinsa avulla. Riittävän korkeaa ääntä, jota ei kuulla kutsutaan ultraääneksi ja riittävän matalaa ääntä, jota ei kuulla kutsutaan infraääneksi. Vaikka infraääniä ei kuulla, se voidaan kuitenkin aistia tärinänä. (Lahtela ym. 2021, 8.)

Äänentaajuudella on merkittävä rooli akustisessa suunnittelussa, koska se vaikuttaa suoraan äänenpaineeseen, rakennusosien akustiseen toimintaan ja niiden ääneneristävyyteen. Koska nämä ominaisuudet ovat riippuvaisia äänentaajuudesta, akustisessa suunnittelussa tulee ottaa huomioon taajuuskaistat. (Lahtela ym. 2021, 8.)

Rakennusosien ääneneristävyyden tulee olla riittävän hyvä laajalla taajuusalueella, joka sijoittuu yleensä välille 100–3150 hertsiä. Rakennusosien ääneneristävyyttä tarkastellaan akustisessa suunnittelussa taajuuskaistoittain, mikä tarkoittaa, että niiden kykyä eristää ääntä testataan eri taajuusalueilla. Akustinen suunnittelu on haastavaa, sillä rakennusosien on kyettävä eristämään ääntä tehokkaasti eri taajuusalueilla, jotta äänihäiriöt voidaan minimoida. (Lahtela ym. 2021, 8.)

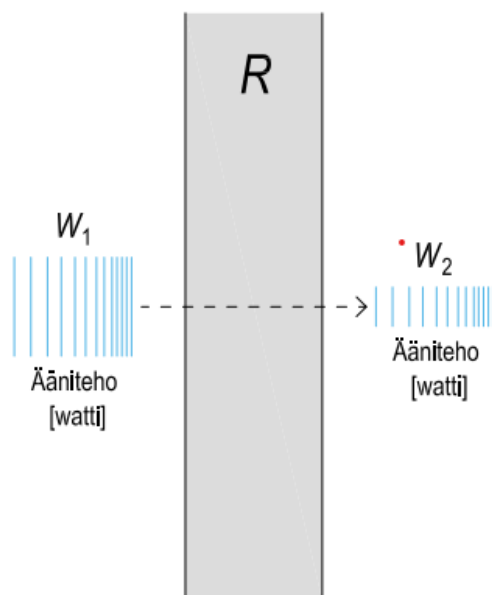
Äänenvoimakkuutta kuvataan käsitteellä äänenpainetaso [ $L_p$ ]. Äänenpainetaso ilmaistaan desibeleinä [dB]. Äänenpainetason esittäminen perustuu logaritmiselle desibeliasteikolle, sillä suora äänenpainearvojen käyttö olisi haasteellista niiden laajan vaihteluvälin ja pienien lukuarvojen vuoksi. Logaritminen desibeliasteikko tarjoaa käytännöllisen tavan hahmottaa äänenpainetasoja, sillä se skaala äänenpaineen arvot sellaiseen muotoon, joita on helpompi ymmärtää ja vertailla eri tilanteissa. Taulukossa 1 on kuvattu äänenpainetasoja eri äänilähteistä. (Lahtela ym. 2021, 8.)

Suuntaa-antava kuvaus	Äänenpaine $p$	Äänenpainetaso $L_p$ $L_p = 20 \log_{10} \frac{p}{p_0}$	Suhde kuulokynnykseen $\frac{p}{p_0}$
Kuulokynnys ( $p_0$ )	0,00002 Pa	0 dB	1
Hiljainen asuinhuoneisto	0,0002 Pa	20 dB	10
Toimistotyöympäristö	0,00356 Pa	45 dB	178
Normaali puhe	0,02 Pa	60 dB	1000
Katumelu	0,2 Pa	80 dB	10000
Piikkauskone	2 Pa	100 dB	100000
Kipukynnys	20 Pa	120 dB	1000000
Suihkumoottori	200 Pa	140 dB	10000000

Taulukko 1. Äänenpainetasoja. (Lahtela ym. 2021, 9.)

### 3.3 Ilmaääneneristävyys

Ilmaääneneristykseen tarkoituksena on vähentää ilmassa siirtyvän äänen kulkeutumista ääntä eristävän rakennusosan läpi. Rakenteiden ilmaääneneristävyttä kuvataan termillä  $R$  [dB], joka on taajuudesta riippuva suure. Ilmaääneneristävyys  $R$  lasketaan rakenteen kohdanneen ja läpäisseen äänitehon suhteen kymmenkertaisena logaritmina. (Lahtela ym. 2021, 13)

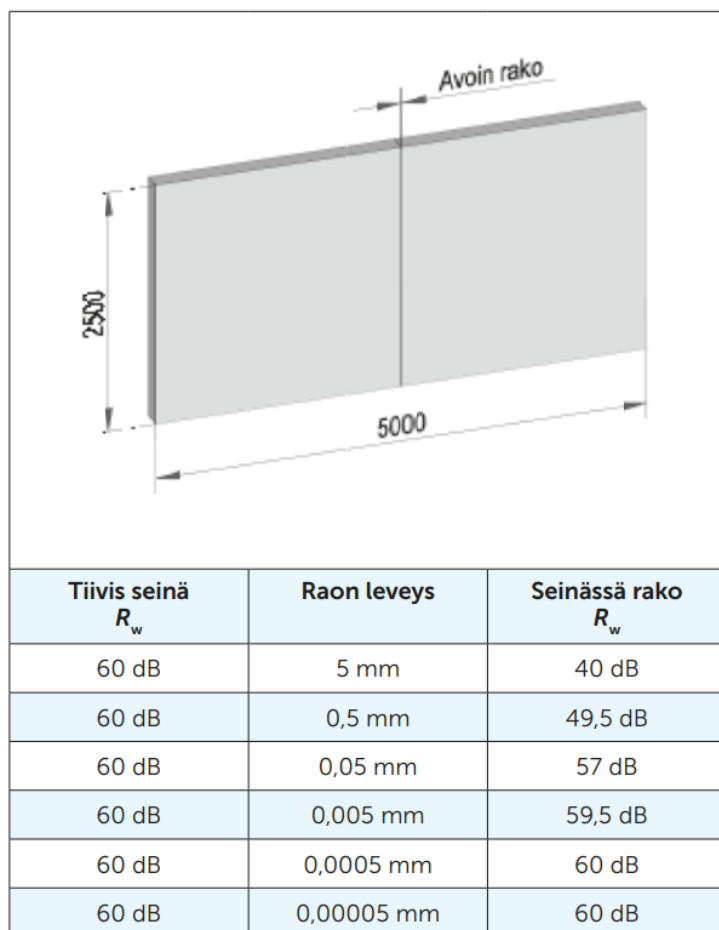


Ilmaääneneristävyys  $R$  lasketaan  
äänitehojen  $W_1$  ja  $W_2$  perusteella

Kuva 7. Ilmaääneneristävyyden laskenta periaate. (Lahtela ym. 2021, 13.)

Rakennuksessa esiintyviä ilmaäänenlähteitä ovat esimerkiksi puhe, musiikki ja erilaiset ääntä tuottavat laitteet, kuten kodinkoneet. Ilmaäänen kohdatessa rakenteen se saa niissä aikaan värähtelyä. Värähtely rakenteissa saa aikaan ilman värähtelyä rakenteen toisella puolella, jonka seurauksena ääni siirtyy rakenteiden kautta tilasta toiseen. (Ympäristöministeriö 2018, 19.)

Rakennusosan ilmatiiveys on olennainen tekijä ilmaääneneristyksen toteutumisessa, sillä ääni kulkee ilman välityksellä. Kuva 8. havainnoi seinässä olevan raon vaikutusta ilmaääneneristävyyteen. (Lahtela ym. 2021, 14.) Raon vaikutus rakennusosan ilmaääneneristävyyteen korreloi suoraan täysin tiiviin rakennusosan ilmaääneneristävyyden kanssa, sillä mitä parempi ilmaääneneristävyys, sitä suurempi raon vaikutus on ilmaääneneristävyyteen. Jos tavoitteena on matala ilmaääneneristävyys tilojen välillä, rakenteessa voi olla pieniä rakoja. Jos tavoitteena on korkea ilmaääneneristävyys, rakenteessa ei sallita käytännössä lainkaan rakoja, sillä jopa pieni rako voi laskea ilmaääneneristävyyttä yli 10 desibeliä. (Kylliäinen 2006, 82.)



Kuva 8. Raon vaikutus seinässä ilmaääneneristävyyteen. (Lahtela ym. 2021, 14.)

### 3.4 Askeläänieristävyys

Askeläänieristuksen tavoitteena on vähentää välipohjaan kohdistuvien iskujen aiheuttamaa äänenpainetasoa välipohjan alapuolisissa ja viereisissä tiloissa. Iskuja välipohjaan aiheutuu rakennuksessa tapahtuvista toiminnoista, kuten kävelystä, huonekalujen siirtelystä, siivoamisesta ja laitteiden toiminnasta, kuten pyykinpesukoneen linkouksesta. Askeläänieristuksen haastavuus johtuu siitä, että välipohjaan kohdistuvat iskut voivat kulkeutua rakennuksen rungossa pitkiä matkoja aiheuttaen ääntä muihin tiloihin. Lisäksi askeläänieristystä monimutkaistaa se, että erilaisista toiminnoista aiheutuvat iskut voivat vaihdella voimakkuudeltaan ja toistuvuudeltaan. Askeläänieristuksen suunnittelussa ja toteutuksessa on otettava huomioon erilaiset iskut ja niiden vaikutukset, jotta voidaan varmistaa riittävä ääneneristys välipohjan alapuolisissa ja viereisissä tiloissa. (Lahtela ym. 2021, 17.)

Rakennusosaan kohdistuessa iskuja, ne synnyttävät runkoääntä eli värähtelyä rakenteessa. Värähtely saa ympäröivän ilman värähtelemään, mikä tuottaa ilmaääntä. Välipohjaan kohdistuvat iskut, kuten kävely tuottavat runkoääntä, joka havaitaan alapuolisessa tilassa ilmaäänenä. Välipohjaan kohdistuvat iskut saavat myös välipohjaa sivuavat rakenteet värähtelemään, mikä välittää runkoääntä sivutiesiirtymiä pitkin. (Lahtela ym. 2021, 17.)

### **3.5 Matala- ja korkeataajuuslattiat**

Välipohjat jaetaan kahteen eri tyyppiin, matala- ja korkeataajuuslattioihin. Alimman ominaistajuuden ollessa alle 10 hertsiä, kyseessä on matalataajuuslattia ja alimman ominaistajuuden ollessa enemmän kuin 10 hertsiä, kyseessä on korkeataajuuslattia. (Talja, Toratti & Järvinen 2002, 14.) Eurokoodin Suomen kansallisessa liitteessä lattiat määritellään matalataajuuslattioiksi, kun alin ominaistajuus on alle 9 hertsiä. (Suomen RakMK 2016. 18.)

Matalataajuuslattioiden jänneväli on yleensä yli 10 metriä ja niiden paino on yleensä yli 300 kg/m<sup>2</sup>. Matalataajuuslattioissa värähtely erottuu ominaisvärähtelynä ja erillisten askelten iskujen havaitseminen on vaikeaa. (Talja ym. 2002, 14.)

Korkeataajuuslattioiden jänneväli on yleensä alle 10 metriä ja niiden paino on yleensä alle 300 kg/m<sup>2</sup>. Korkeataajuuslattioissa erillisten askeleiden iskut erotetaan selkeästi ja värähtely aiheutuu kävelyn aiheuttamasta lattian taipumasta. (Talja ym. 2002, 15.)

### 3.6 Ympäristöministeriön asetus rakennuksen ääniympäristöstä

Ympäristöministeriön asetus rakennuksen ääniympäristöstä (796/2017) määrittelee rakennuksen ääniympäristölle asetettavat vaatimukset. Asetus kattaa suunnitteluvaiheen, sekä ääneneristyksen toteutuksen uusissa rakennuksissa. Taulukossa 2 on esitetty asetuksen 4 § määräämät vaatimukset uuden rakennuksen ääneneristävydelle asuntojen, majoitus- ja potilashuoneiden ilma- ja askeläänieristykselle. (Ympäristöministeriö 2018, 20.)

Huonetila	Pienin sallittu äänitaso-eroluku $D_{nT,w}$ (dB)	Suurin sallittu askelääni-tasoluku $L'_{nT,w} + C_{l,50-2500}$ (dB)
Asuntojen, majoitus- tai potilashuoneiden välillä	55	53
Uloskäytävästä asuin-, majoitus- tai potilashuoneeseen	39	63

Taulukko 2. Ääneneristävyden vaatimukset. (Ympäristöministeriö 2018, 20.)

Pienin sallittu äänitasoeroluku  $D_{nT,w}$  (dB) ilmaisee tilojen erottavan rakenteen ilmaääneneristävyden vähimmäismäärää. Jotta rakenne täyttää asetuksessa määritellyn tason, on sen äänitasoeroluvun oltava korkeampi kuin pienin sallittu äänitasoeroluku  $D_{nT,w}$  55 dB. Suurin sallittu askeläänitasoluku  $L'_{nT,w} + C_{l,50-2500}$  (dB) ilmaisee korkeimman äänitason, jonka askelääni saa saavuttaa tilassa. Jotta rakenne täyttää asetuksessa määritellyn tason, on sen askeläänitasoluvun oltava pienempi, kuin suurin sallittu askeläänitasoluku 53 dB.

(Ympäristöministeriö 2018, 20.)

Riippuen tilatyypistä ja sen käyttötarkoituksesta niille on annettu tietyt ohjearvot askeläänitasoluista, joita ei tulisi ylittää. Ohjearvot tulevat ilmi asetuksesta 4.3 §. Taulukossa 3 on esitetty ohjearvoja askeläänitasoluvulle eri tiloissa.

(Ympäristöministeriö 2018, 22.)

Tilatyyppi	Ohjearvo Askeläänitasoluku $L'_{nT,w} + C_{1,50-2500}$ (dB)
Oppilaitosrakennuksessa kerrosten välillä yleensä	63
Teknisen työn opetustilasta ympäröiviin tiloihin	49
Musiikinopetustilasta ympäröiviin tiloihin	46
Sairaalassa, terveysasemalla yms. kerrosten välillä yleensä	63
Liikuntatilasta ympäröiviin tiloihin	46
Toimistorakennuksessa kerrosten välillä yleensä	63

Taulukko 3. (Ympäristöministeriö 2018, 23.)

## 4 Välipohjarakenteiden rakenneratkaisut ääneneristävyyden parantamiseksi

### 4.1 Yksin- ja kaksinkertainen rakenne

Akustisesti yksinkertainen rakenne tarkoittaa sitä, että rakenteen eri osat joko koostuvat yhdestä yhtenäisestä materiaalista tai eri materiaalikerrokset ovat liitetty niin tiiviisti yhteen, että ne käyttäytyvät akustisesti yhtenä kokonaisuutena värähdellössään. Yksinkertaisen rakenteen suunnittelussa ilmaääneneristävyyden kannalta tärkeitä tekijöitä ovat rakenteen massa, jäykkyys, ilmatiiveys ja rakenteelliset sivutiesiirtymät. Askelääneneristykseen suunnittelussa edellisten tekijöiden lisäksi on myös huomioitava pintarakenteen joustavuus. (Lahtela ym. 2021, 20.)

Yksinkertaisen rakenteen ilmaääneneristyskyky perustuu rakenteen massaan ja jäykkyyteen, mitä raskaampi ja jäykempi rakenne on, sitä paremmin se pystyy eristämään ääntä. Puurakenteet ovat kevyempiä ja vähemmän jäykkiä kuin vastaavat betonirakenteet, minkä vuoksi niiden ilmaääneneristyskyky on huomattavasti heikompi tietyillä taajuusalueilla verrattuna vastaaviin betonirakenteisiin. Jotta massiivinen puurakenne voisi saavuttaa saman ilmaääneneristykseen kuin 180 millimetriä paksu betonirakenne, tulisi puurakenteen olla paksuudeltaan lähes 600 millimetriä. (Lahtela ym. 2021, 21.)

Yksinkertaiset massiiviset puurakenteet eivät yleensä tarjoa riittävää ääneneristävyyttä. Tämä johtuu siitä, että pelkästään massiivinen puurakenne ei kykene vaimentamaan ääntä riittävän tehokkaasti sen matalamman massan ja jäykkyyden vuoksi verrattuna esimerkiksi betonirakenteisiin. Tämän vuoksi puurakenteisissa rakennusosissa, kuten seinissä ja välipohjissa, käytetään yleensä akustisesti kaksinkertaista rakennetta. (Lahtela ym. 2021, 23.)

Akustisesti kaksinkertainen rakenne tarkoittaa, että se koostuu kahdesta levymäisestä massasta ja näiden välissä olevasta ilmapölystä. Ilmapöly toimii jousena, ja sen toiminta perustuu ilmapölyn paksuuteen. Kun ilmapöly on riittävän suuri suhteessa äänen aallonpituuteen, se toimii tehokkaana värähtelyjen vaimentajana. Tämä johtaa siihen, että äänivärähtelyt eivät siirry yhtä tehokkaasti massojen välillä, mikä parantaa rakenteen ilmapölyneneristävyyttä. Jos ilmapöly on liian ohut, se ei toimi jousena, vaan massat kytkeytyvät toisiinsa ja rakenteen ääneneristävyys heikkenee. Jos levyt ovat kiinni samassa runkorakenteessa, massat ovat mekaanisesti yhteydessä toisiinsa rungon kautta, mikä heikentää äänen eristävyyttä. Ihanteellinen kaksinkertainen rakenne on sellainen, jossa levymäiset massat ovat täysin erillään, kuten kaksoisrungossa, ja ne yhdistyvät vain ilmapölyn kautta. (Lahtela ym. 2021, 23.)

## 4.2 Massalaki

Kun ääniaalto osuu rakenteeseen, se saa aikaan rakenteessa värähtelyä. Mitä enemmän rakenne värähtelee, sitä enemmän se luo ääniaaltoja rakenteen toiselle puolelle. Kevytrakenteinen materiaali värähtelee enemmän samasta äänenpaineesta verrattuna raskaaseen materiaaliin. Tämän seurauksena raskas rakenne kykenee paremmin eristämään ääntä. Tätä periaatetta kutsutaan ääneneristävyyden massalaki. (Lahtela & Lahikainen 2004, 18.)

Rakenteen massan lisääminen ääneneristävyyden kannalta on taloudellisesti järkevää silloin, kun rakenne on kevyt. Raskaassa rakenteessa ääneneristävyyttä ei saada oleellisesti parannettua pienillä massan lisäyksillä. Yleisohjeena voidaan pitää sitä, että kun rakenteen massa kaksinkertaistuu, ilmapölyneneristävyys paranee 4–6 desibeliä. (Lahtela & Lahikainen 2004, 18.)

### 4.3 Lattiapinnoite ja kelluvalattiarakenne

Kelluva lattia on rakennustekninen ratkaisu, jossa lattia asennetaan askelääneneristeen päälle erillisenä rakenteena, joka ei ole suoraan yhteydessä kantavaan välipohjaan. Kelluvalattia toteutetaan yleensä valulattiana tai kipsilevylattiana. Valulattiassa käytetään betonia, kipsiä tai plaanoa. Kelluvan lattian askelääneneristeenä käytetään materiaaleja, kuten mineraalivillaa tai elastisoitua polystyreeniä, jotka vaimentavat tehokkaasti askelääniä ja estävät niiden siirtymisen rakenteiden kautta. (Lahtela & Lahikainen 2004, 40.)

Akustisesti kelluva lattia toimii ääneneristäjänä resonanssitaajuutensa yläpuolisilla taajuuksilla. Kelluvan lattian suunnittelussa tarkastellaan sen alinta ominaistaajuutta, mitä matalampi tämä alin ominaistaajuus on, sitä paremman ääneneristävyuden rakenne pystyy tarjoamaan. Suositeltava alaraja on alle 50 hertsiä, jotta resonanssin aiheuttama ääneneristävyuden heikkeneminen on mahdollisimman vähäistä. Kelluvan lattian alimpaan ominaistaajuuteen vaikuttavat useat tekijät, kuten askelääneneristeen dynaaminen jäykkyys, lattian massa ja palkkijako. Kelluvan lattian suunnittelussa on oltava erityisen tarkka, sillä pienikin fyysinen kytkentä kantavaan runkoon tai ympäröiviin rakenteisiin heikentää huomattavasti välipohjan ääneneristävyttä. Lisäksi lattian paino ja jäykkyys sekä askelääneneristeen ominaisuudet on suunniteltava huolellisesti. Jos lattia on liian kevyt tai joustava, se saattaa värähdellä kantavan rakenteen päällä, mikä voi heikentää kävelymukavuutta ja aiheuttaa epämiellyttäviä värähtelyjä. Näin ollen kelluvan lattian massa ja jäykkyys on tasapainotettava niin, että rakenteesta tulee sekä akustisesti tehokas että mekaanisesti vakaa. (Lahtela & Lahikainen 2004, 40.)

Lattiapinnoitteella ei ole suurta vaikutusta välipohjan ilmaääneneristävyteen. Joustava lattiapinnoite voi parantaa merkittävästi askelääneneristävyttä puuvälipohjassa, kun välipohjassa on kiinteä pintalattia. Kelluvassa lattiassa joustavan lattiapinnoitteen vaikutus askelääneneristävyteen on vähäinen, koska kelluva lattia on itsessään suunniteltu vaimentamaan askelääniä sen joustavan rakenteen ansioista. (Lahtela & Lahikainen 2004, 42.)

Joustava lattiapinnoite toteutetaan esimerkiksi muovimatoilla, kokolattiamatoilla tai joustavan aluskerroksen päälle asetettavalla parketilla tai laminaatilla. Kun käytetään kovia lattiapinnoitteita, kuten keraamisia laattoja, askeläänieristävyyden saavuttaminen pelkän pinnoitteen avulla on haastavaa. Kovat materiaalit eivät vaimenna tehokkaasti askeläänistä syntyviä iskuja ja tärähdyksiä, jotka voivat siirtyä helposti välipohjan rakenteiden läpi muihin tiloihin. Tästä syystä kovia lattiapinnoitteita käytettäessä on yleensä tarpeen käyttää kelluvaa lattiaratkaisua. (Lahtela & Lahikainen 2004, 42.)

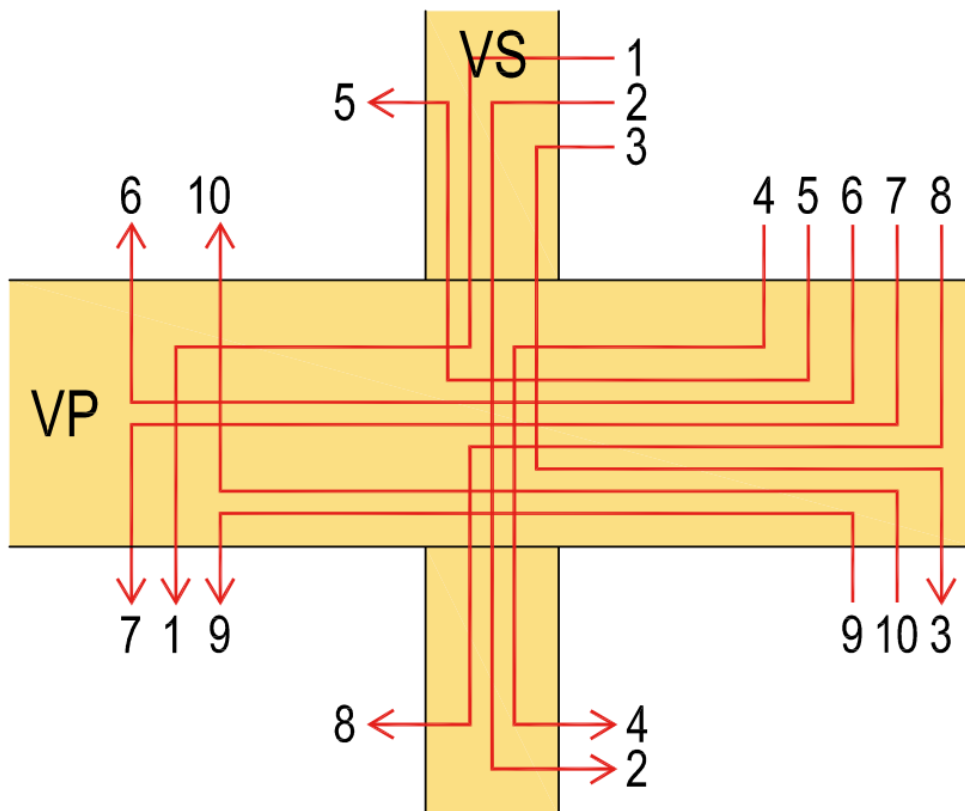
#### **4.4 Jousirankakatto**

Akustinen jousirankakatto tekee puuvälipohjasta lähes täydellisen kaksinkertaisen rakenteen akustisessa mielessä. Tämä johtuu siitä, että kattolevytys voidaan eristää akustisesti itse välipohjan rungosta, mikä vähentää äänen siirtymistä rakenteiden välillä. Akustiset jousirangat parantavat huomattavasti sekä ilma- että askelääneneristävyyttä, ja niiden vaikutus alkaa jo noin 50 Hz taajuudesta lähtien. (Lahtela & Lahikainen 2004, 38.)

Mitä raskaampi ja joustavampi jousirankakatto on, sitä parempi ääneneristävyys saavutetaan. Tämä johtuu siitä, että painava rakenne yhdistettynä joustavaan kiinnitykseen toimii tehokkaana esteenä sekä ilma- että askeläänien siirtymiselle. Akustisten jousirankojen toimivuuden kannalta on tärkeää, että kipsilevytyksen massa ja jousirankojen joustavuus ovat tasapainossa. Tyypillisesti jousirankakatossa käytetään kahta päällekkäistä kipsilevykerrosta, mutta levyjä ei liimata yhteen, koska tämä voi aiheuttaa koinsidenssi-ilmiön, joka heikentää rakenteen ääneneristävyyttä. (Lahtela & Lahikainen 2004, 38.)

#### 4.5 Tärinäeristimien käyttö sivutiesiirtymien estämiseksi

Rakenteellisella sivutiesiirtymällä tarkoitetaan ilmiötä, jossa runkoääni kulkeutuu jatkuvan rakenteen kautta tilasta toiseen tilaan. Rakenteelliset sivutiesiirtymät ovat suurempi ongelma puurakenteisessa rakennuksessa, kuin betonirakenteisessa rakennuksessa. Puurakenteet ovat tyypillisesti kevyitä, eikä niiden massaa voida käyttää hyväksi runkoäänien hillitsemiseksi rakenteellisissa sivutiesiirtymissä. Lisäksi puurakentamisessa puurakenteiden liittymissä on useita rakenneosia ja kiinnikkeitä, jotka vaikuttavat runkoäänien kulkeutumiseen. Kuvassa 9 on esitetty rakenteellisen sivutiesiirtymän kulkeutumisreittejä yksinkertaisen seinän liittymässä jatkuvaan välipohjaan. (Lahtela ym. 2021, 55.)



Kuva 9. Sivutiesiirtymän kulkeutumisreittejä. (Lahtela ym. 2021, 57.)

Tärinäeristimillä pyritään hillitsemään rakenteellisia sivutiesiirtymiä, niiden tarkoituksena on vaimentaa värähtelyjä eri rakennusosien välillä.

Tärinäeristimet voivat olla esimerkiksi polyuretaanipohjaisia materiaaleja.

Tärinäeristimiä sijoitetaan seinien ja välipohjien liitoksiin, sekä liitoselimiin.

Kuvassa 10 on esitetty tärinäeristimet CLT-levyjen välisessä liittymässä.

Tärinäeristimien käytössä tulee ottaa huomioon niiden vaikutus liitosten lujuuteen ja jäykkyyteen. Toimiakseen tärinäeristimet vaativat tietyn määrän kokoonpuristumista. Jos kokoon puristuma on kuitenkin liian suuri tärinäeristin ei toimi halutulla tavalla. (Lahtela ym. 2021, 55.)



Kuva 10. Tärinäeristimet CLT-levyjen välisessä liittymässä. (Getzner.)

## 5 Opinnäytetyön toteutus ja käytetyt menetelmät

Opinnäytetyön tutkimusosuus oli tarkoitus toteuttaa haastattelemalla eri rakennusyritysten toimihenkilöitä. Yrityksille oli tarkoitus esittää kysymyksiä liittyen välipohjan asennustöihin, suunnitteluun ja sen äänitekniisiin ominaisuuksiin ja toimivuuteen. Haastattelun tavoitteena oli selvittää, minkälaisia ongelmia ja haasteita liittyy puurakenteisen välipohjan asennustöihin akustisessa näkökulmassa. Mahdollisiin rakennusalanyrityksiin, joilta haastattelutuloksia haluttiin, oltiin yhteydessä puhelimitse ja sähköpostitse.

Kysymykset, jotka haastattelussa esitettiin, olivat seuraavat:

### 1. Valmistelu ja suunnittelu:

- Oliko työmaalla havaittavissa puutteita valmistelu- ja suunnitteluvaiheessa, jotka vaikuttivat asennusprosessiin?
- Oliko tarpeen tehdä lisävalmisteluja ennen asennustyön aloittamista?
- Oliko tarvetta olla yhteydessä suunnittelijoihin normaalia enemmän?

### 2. Asennusolosuhteet:

- Mihin aikaan vuodesta puuvälipohjan asennustyö suoritettiin?
- Millaiset olivat sääolosuhteet asennuksen aikana? Kuinka ne vaikuttivat työskentelyyn?

### 3. Asennusprosessi ja ongelmat:

- Ilmenikö ongelmia puuvälipohjan asennuksen aikana?
- Kohtasitteko vaikeuksia tietyissä asennusvaiheissa, kuten materiaalien sovittamisessa tai liitosten tekemisessä?

#### 4. Ratkaisut ongelmiin:

- Kuinka yrititte ratkaista ilmenneet ongelmat työmaalla?
- Tarvittiinko ulkopuolista apua tai lisäresursseja ongelmien korjaamiseksi?
- Millaisia lisätoimenpiteitä tarvitaan vastaavien ongelmien välttämiseksi tulevaisuudessa?

#### 5. Asennusporukan kokemus ja palaute:

- Millainen oli asennusporukan kokemus puuvälipohjan asennuksesta?
- Minkälainen oheistus annettiin asentajille?
- Mitä opittiin tämän asennuskokemuksen perusteella ja mitä kehitysehdotuksia asennusprosessiin liittyen teillä on?

#### 6. Äänitekkinen toimivuus:

- Oliko valmis välipohjarakenne äänitekkinesti toimiva suunniteltuun käyttötarkoitukseen nähden?
- Havaittiinko ääniongelmia, kuten ääneneristyksen puutteita tai ääneneristyskyvyn heikkenemistä?

#### 7. Mahdolliset korjaustoimenpiteet:

- Millaisia korjauksia oli tarpeen tehdä valmiissa välipohjarakenteessa?
- Kuinka nämä korjaukset toteutettiin ja miten ne vaikuttivat välipohjan äänitekkiniseen toimivuuteen?

## 6 Haastattelujen tulokset

Haastattelutuloksia saatiin opinnäytetyöhön vain yhdeltä rakennusyrytykseltä ja haastattelutulos jäi suppeaksi, jonka vuoksi tuloksia ei voida pitää täysin luotettavina. Haastateltava yritys oli SRV ja yrityksellä oli useita kohteita toteutettuna, joissa välipohjarakenne oli toteutettu puurakenteisena. Referenssinä haastattelun kysymyksiin rakennusyrytyksellä oli seitsemän kerrostaloa, kuusi päiväkotia, neljä koulua ja viisi toimitilarakennusta.

### 6.1 Valmistelu ja suunnittelu

Haastattelussa ilmeni, että jokaisessa hankkeessa on ilmennyt puutteita valmistelu- ja suunnitteluprosessissa. Ilmeni, että hankkeiden suunnittelu yleensä ostetaan palveluina ja, että vastuurajapinta poikkeaa suunnittelijoilla ja toteuttajilla. Suunnittelijoihin on ollut myös tarvetta olla yhteydessä normaalia enemmän jokaisen hankkeen aikana.

Akustinen suunnitteluala on Suomessa vielä verrattain uutta. Tyypillisesti kaikki ongelmat yritetään ratkaista yhdellä rakennetyypillä, vaikka esimerkiksi värähtelyongelman voisi ratkaista sekundäärisellä rakenneratkaisulla. Haastattelussa kävi myös ilmi se, etteivät ennakkosuunnitelmat usein vastaa lopullisia suunnitelmia. Kävi myös ilmi, että mallikatselmuksia on tarpeen suorittaa. Esimerkiksi kerrostaloissa voi olla useita melkein identtisiä tiloja ja huoneita, joihin ei voida kuitenkaan soveltaa samoja rakenneratkaisuja vaan joudutaan toimimaan eri tavalla tilanteen mukaan.

## 6.2 Asennusolosuhteet

Puuvälipohjan asennustöitä on suoritettu ympärivuoden kesällä, talvella, syksyllä ja keväällä. Työmaat ovat olleet huputettuja, sekä ilman säältä suojaavaa huppua.

Sääolosuhteet ovat vaihdelleen asennustöiden aikana. Asennustöitä on suoritettu niin aurinkoisella säällä kuin myös tuulisella säällä, räntä ja lumisateessa. Vaikka sääolosuhteet ovat olleet vaihtelevia, niillä ei ole havaittu olevan merkittävää vaikutusta asennustyön sujuvuuteen tai lopputulokseen.

## 6.3 Asennusprosessi ja ongelmat

Puuvälipohjien asennuksessa ei ole ilmennyt merkittäviä ongelmia ja asennusprosessin suorittaminen on ollut sujuvaa ja tehokasta. Puu on korkealaatuinen ja mittatarkka materiaali, mikä takaa sen, että kaikki osat sopivat täydellisesti tai hyvin pienillä muokkauksilla toisiinsa.

Asennusprosessissa on voinut ilmetä ongelmia kantavien rakenteiden osalta, silloin kun puu yhdistyy betonin tai teräksen kanssa. Puun on tyypillisesti mittatarkkaa millimetrilleen. Betoni ei ole yleensä niin mittatarkkaa kuin puu, betonin osalta voidaan puhua jopa senteistä mittatarkkuudessa. Tämä ero mittatarkkuudessa voi aiheuttaa ongelmia, kun pyritään yhdistämään puu ja betoni, koska puun ja betonin välinen sovitus ei ole aina täydellinen.

E erityisesti puun tarkkuuden ja betonin välisten mittasuhteiden yhteensovittaminen vaatii huolellista suunnittelua ja toteutusta, jotta varmistetaan rakenteiden optimaalinen yhteensopivuus, toimivuus ja kestävyys.

## 6.4 Ratkaisut ongelmiin

Puuvälipohjien asennuksessa ongelmien ratkaisussa keskeinen tapa on ollut huolellinen suunnittelun lähestymistapa, joka keskittyy kattavaan suunnittelun ohjaukseen ja tiiviiseen yhteistyöhön työmaan asiantuntijoiden kanssa.

Ensisijainen menetelmä ongelmien käsittelemiseksi on suunnittelun ohjaus, jossa pyritään varmistamaan, että kaikki asennustyön vaiheet ja ratkaisut ovat hyvin mietittyjä ja sovitettuina työmaan tarpeiden mukaan.

Tärkeää on myös kirvesmiehien asiantuntemuksen hyödyntäminen.

Kirvesmiehien käytännönkokemus tarjoaa arvokasta tietoa siitä, miten erilaiset asennusmenetelmät toimivat käytännössä ja miten niitä voitaisiin parantaa ja soveltaa tehokkaammin puisten välipohjien asennusvaiheessa.

Ongelmien korjaamiseksi on myös tarvittu ulkopuolista ja kolmannen osapuolen apua. Suunnittelijan asiantuntemus on erityisen tärkeää ongelmien ratkaisemisessa. Suunnittelijan rooli on keskeinen ongelmien arvioinnissa, tarkastelussa ja ratkaisujen kehittämisessä. Lisäksi kolmannen osapuolen asiantuntemusta on hyödynnetty tarkasteluissa ja opponoinnissa ongelmaan liittyen.

Tulevaisuuden vastaavien ongelmien välttämiseksi on tärkeää toteuttaa useita lisätoimenpiteitä. Ensinnäkin suunnittelun ohjauksen tulisi olla avointa ja jatkuvaa, mikä edellyttää säännöllistä ja avointa kommunikointia kaikilla työmaan tasoilla. On tärkeää, että kaikki osapuolet, mukaan lukien kirvesmiehet ja muut työntekijät, ovat mukana keskusteluissa ja päätöksenteossa alusta alkaen. Tämä varmistaa, että mahdolliset ongelmat tunnistetaan ja käsitellään aikaisessa vaiheessa, mikä vähentää riskiä suurten ongelmien kehittymiselle myöhemmin projektin aikana.

## 6.5 Asennusporukan kokemus ja palaute

Asennusporukan kokemus puuvälipohjan asennuksesta on ollut positiivinen. Työmaalla on toiminut vakiintunut ammattitaitoinen ryhmä, jolla on laaja kokemus vastaavista asennustöistä. Ryhmässä ei ole ilmennyt merkittäviä ongelmia, mikä viittaa siihen, että asentajat ovat hyvin perehtyneitä tehtäviinsä ja osaavat suorittaa asennukset sujuvasti ja tehokkaasti.

Kirvesmiesten odotetaan hallitsevan tietomallien käytön, mikä on keskeinen osa asennustyön onnistumista. Lisäksi puukohteiden erityispiirteiden vuoksi mittamiehen rooli korostuu enemmän verrattuna perinteisiin rakennuskohteisiin. Täsmällinen mittaus ja detajiiikka ovat tärkeitä, jotta asennustyö saadaan toteutettua tarkasti. Ohjeistuksessa korostetaan myös, että suunnittelijoilta tulisi kysyä lisätietoja ja ohjeita, erityisesti kun kyseessä on yksityiskohtainen detajiiikka, mikä auttaa varmistamaan, että kaikki asennusvaiheet toteutetaan suunnitelman mukaisesti.

## 6.6 Äänitekninen toimivuus

Valmiit välipohjarakenteet ovat yleisesti ottaen olleet ääniteknisesti toimivia ja täyttäneet suunnitellun käyttötarkoituksen vaatimukset. Yhdessä projektissa oli ilmennyt poikkeama, jossa äänitekninen toimivuus ei vastannut täysin odotuksia. Tässä tapauksessa kyseessä oli kevyemmän betonilaadun käyttö, mikä vaikutti rakenteen akustisiin ominaisuuksiin heikentäen ääneneristyskykyä.

Välipohjan ääneneristyskyvyn varmistamiseksi on tehty akustisia mittauksia, myös asennusvaiheessa. Tällaisia mittauksia on suoritettu esimerkiksi projektin puolivälissä, jolloin voidaan varmistaa rakenteiden ääneneristävyden kehittyminen asennuksen edetessä.

Vaikka valmiissa rakenteissa ei ole havaittu ääneneristysten puutteita, nämä asennusvaiheen mittaukset ovat tärkeitä laadunvalvonnan näkökulmasta. Ne tarjoavat mahdollisuuden varmistaa, että lopullinen rakenne vastaa suunniteltuja akustisia tavoitteita ja että mahdolliset asennusprosessin aikana ilmenneet ongelmat voidaan ratkaista ajoissa.

## 6.7 Mahdolliset korjaustoimenpiteet

Valmiissa välipohjarakenteissa oli joissain kohteissa tarpeen suorittaa korjauksia, jotka liittyivät äänitekniisiin vaatimuksiin. Korjaustoimenpiteitä tehtiin muun muassa lisäämällä välipohjaan massaa ja käyttämällä akustisia ratkaisuja, kuten jousirankarakenteita sekä eristäviä materiaaleja. Esimerkiksi hiekkaa ja kipsilevyjä on käytetty rakenteen ääneneristävyyden parantamiseksi.

Useimmissa tapauksissa havaittu ongelma liittyi pieneen, 2–3 desibelin puutteeseen rakenteen ääneneristävyydessä. Tällaiset desibelitason poikkeamat voivat vaikuttaa merkittävästi rakenteen käyttömukavuuteen ja äänitekniiseen suorituskykyyn.

## 7 Pohdinta

Opinnäytetyössä pyrittiin perehtymään ja selvittämään puu- ja hybridivälipohjien akustisia ominaisuuksia, sekä niihin liittyviä rakenneratkaisuja. Opinnäytetyön tavoitteena oli saada ymmärrys siitä, miten eri rakenneratkaisut vaikuttavat askel- ja ilmaääneneristävyyden hallintaan. Teoria osuudessa tutustuttiin ensin ääneen ja äänen ominaisuuksiin. Seuraavaksi tutustuttiin rakenneratkaisuihin, ja selvitettiin miten ne vaikuttavat ääneneristävyyteen puurakenteisissa välipohjissa. Haastatteluosuudessa pyrittiin saamaan tietoa, miten välipohjan asennus ja sen äänitekniinen toimivuus ovat onnistuneet työmaalla. Haastattelujen otanta jäi pieneksi, useisiin mahdollisesti haastateltaviin rakennusalan toimihenkilöihin saatiin yhteys, mutta vain yksi taho suostui toteuttamaan haastattelun. Haastattelusta saatiin kuitenkin hyvää kokemusperäistä tietoa työmaalta puuvälipohjiin liittyen.

Puurakenteisissa välipohjissa vaatimukset täyttävään ääneneristävyyteen vaaditaan erilaisia rakenneratkaisuja. Puun massan lisääminen ei ole taloudellista tai tehokasta, koska rakenteesta tulisi turhan paksu. Hyvä ja vaatimukset täyttävä ääneneristys saadaan aikaan kaksinkertaisella rakenteella eli jousirankarakenteella, joka vähentää ilma- ja askelääntä. Koska

puurakenteet ovat kevyitä, eikä niiden massaa voida käyttää sivutiesiirtymien hillitsemiseksi, käytetään tärinäeristimiä, joilla eliminoidaan sivutiesiirtymät. Hyvä ilma- ja askeläänieristys voidaan toteuttaa useilla erilaisilla rakenneratkaisuilla ja materiaaleilla.

Opinnäytetyötä voidaan hyödyntää tulevaisuudessa puu- ja hybridivälipohjien suunnittelussa ja rakentamisessa. Tässä opinnäytetyössä keskityttiin enemmän rakenneratkaisuihin puuvälipohjien akustiikassa. Lisääntyvän puurakentamisen takia, vaikuttaisi olevan tarvetta opinnäytetöille, jotka keskittyvät enemmän laadunvarmistukseen työmaan näkökulmasta.

## Lähteet

- Crosslam. 2024. Crosslam CLT Materiaalin ominaisuudet, tekniset tiedot ja rakentaminen.  
<https://crosslam.fi/crosslam-clt/>. 25.10.2024
- Huhtanen, T. 2021. Puurakentamisella kohti hiilineutraalia yhteiskuntaa  
<https://www.labopen.fi/lab-pro/puurakentamisella-kohti-hiilineutraalia-yhteiskuntaa/>. 2.4.2024
- Kylliäinen, M. 2006. Talonrakentamisen akustiikka.
- Matveinen, M. 2023. PuuHyvä – Puu- ja hybridirakenteisen välipohjatuotteiden rakennusakustiikka, värähtely ja elinkaaren päästöt.  
<https://rakentaminen.karelia.fi/projekti/puuhyva/>. 25.10.2024
- Metsä group. 2024. Kerto® LVL S-beam  
<https://www.metsagroup.com/fi/metsawood/tuotteet-ja-palvelut/tuotteet/kerto-lvl/s-beam/>. 25.10.2024
- Lahtela & Lahikainen. 2004. Ääneneristys puutalossa.
- Lahtela, T., Kylliäinen, M., Lietzén, J., Kovalainen, V., & Talus, V. 2021. Ääneneristys puutalossa.
- Puuinfo. 2023. Monikerroslevy (CLT)  
<https://puuinfo.fi/puutieto/insinoorituotteet/monikerroslevy-clt/>. 25.10.2024
- Puuinfo. 2020. Liimapuu  
<https://puuinfo.fi/puutieto/insinoorituotteet/liimapuu-qlt/>. 25.10.2024.
- Puuinfo. 2020. Viilupuu (LVL)  
<https://puuinfo.fi/puutieto/insinoorituotteet/viilupuu-lvl/>. 25.10.2024.
- Suomen rakentamismääräyskokoelma. 2016. Rakenteiden lujuus ja vakaus  
[https://ym.fi/documents/1410903/38439968/lopullinen-suunnitteluperusteet-2016-C352472F\\_E7C4\\_4653\\_BF44\\_1AB47FB50CB0-137127.pdf.23.4.2024](https://ym.fi/documents/1410903/38439968/lopullinen-suunnitteluperusteet-2016-C352472F_E7C4_4653_BF44_1AB47FB50CB0-137127.pdf.23.4.2024)
- Leino, M. 2024. SRV. Puhelinhaastattelu. 20.5.2024
- Talja, A., Toratti, T., & Järvinen, E. 2002. Lattioiden värähtelyt. Suunnittelu ja kokeellinen arviointi
- Viljakainen, M. 2005. Avoinpuurakennusjärjestelmä.
- VVR Wood. 2024. Kerto Ripa puuelementit.  
<https://www.vvr.fi/tuotteet/kerto-ripa-puuelementit/>. 23.4.2024
- Ympäristöministeriö. 2018. Ääniympäristö.  
[https://ym.fi/documents/1410903/38439968/Ymparistoministerion-ohje-rakennuksen-aaniymparistosta-2852D34E\\_DA43\\_4DCA\\_9CEE\\_47DBB9EFCB08-138568.pdf.6.4.2024](https://ym.fi/documents/1410903/38439968/Ymparistoministerion-ohje-rakennuksen-aaniymparistosta-2852D34E_DA43_4DCA_9CEE_47DBB9EFCB08-138568.pdf.6.4.2024)