



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU  
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Joni Ruuska

HUONEISTOJEN VÄLINEN KAKSOIS-  
RUNKOSEINÄ YHTENÄ  
ELEMENTTINÄ

Tekniikka  
2018

## TIIVISTELMÄ

Tekijä	Joni Ruuska
Opinnäytetyön nimi	Huoneistojen välinen kaksoisrunkoseinä yhtenä elementtinä
Vuosi	2018
Kieli	suomi
Sivumäärä	27 + 3 liitettä
Ohjaaja	Mika Korpi

---

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on kehittää talotehtaalle ääniteknisesti toimiva huoneistojen välinen seinäelementti, joka soveltuisi toimeksiantajan työskentelytapoihin. Tällä hetkellä tehdas valmistaa huoneistojen väliset seinänsä kahdesta erillisestä elementistä, jolloin seinä saavuttaa rakenteelle määrätyn ilmasteneristysluvun 55 dB. Kyseisen rakenteen ongelmakohtina ovat olleet elementtien osittainen peittäminen nostoissa, sekä seinän suoraksi saaminen asennuskohteessa. Tehtaalla on aikoinaan valmistettu kyseiset seinät kaksoisrunkoelementteinä, mutta runkojen väliset liitokset ovat olleet liian jäykkiä, jolloin ilmasteneristysluku on heikentynyt.

Tutkimuksessa on perehdytty rakenteelle asetettuihin vaatimuksiin ja perehdytty siinä esiintyviin ääniteknisiin ilmiöihin tutkimalla alan kirjallisuutta. Työ rajautuu vain kaksoisrunkoseinälle ominaisiin ilmiöihin ja perehdytty ainoastaan runkojen välisen liitoksen parantamiseen, sillä elementtien liittymät ympäröiviin rakenteisiin ovat olleet toimivia.

Tutkimuksen lopputuloksena oleva liitosratkaisu on kehitelty tutkimalla tehtaan vanhan kaksoisrunkoseinän elementtipiirustuksia ja niiden perusteella on vanha liitosrakenne muokattu joustavammaksi. Tässä tutkimuksessa esitetyn runkojen välisen liitosratkaisun toimivuus perustuu laskentatuloksiin ja olettamuksiin. Liitosratkaisun todellinen toimivuus voidaan todeta vain melumittauksin.

---

Avainsanat                      Rakennesuunnittelu, rakennusfysiikka, suurelementti, elementtisuunnittelu

## **ABSTRACT (font size 14)**

Author	Joni Ruuska
Title	Pre-fabricated Partition Wall
Year	2018
Language	Finnish
Pages	27 + 3 Appendices
Name of Supervisor	Mika Korpi

---

The main objective of this thesis was to develop a new structure for a prefabricated partition wall for a house factory. The new structure will be double framed which will be based on their formerly manufactured double frame. The joints between the frames were too rigid, so the task was to innovate a joint that is flexible and strong as well.

At the moment the partition walls are made with two separate elements. The main problems with this solution are that the elements are too flexible that they easily break when lifted and there are difficulties in mounting to get the walls straight because there is no joints between the frames in the middle parts of the wall.

In this study the main regulations are presented for sound insulation that defines the structure for the partition wall between two apartments. To reach the demanded insulation properties knowing the behavior of the sound in different structures is the key to define the desired outcome.

The optimal structure is a spring-mass combination where layers of gypsum boards gives the structure its mass and the airspace filled with absorptive insulation works as a spring making the structure flexible. In this structure the purpose of the gypsum boards is also to keep the coincidence frequency above the frequency area of a human ear. The spring of the structure reduces the resonance effect and therefore there should not be any mechanical joints between the frames.

Finding the solution was quite challenging and it required also some innovative thinking. The final product is a new joint structure that should add flexibility to the double frame and should be durable when lifted as well. The results are purely based on calculations and the real functionality can be proven only with noise measurements.

---

Keywords	Prefabricated element, structural engineering and sound-proofing
----------	--

# SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

KÄSITTEET

1	JOHDANTO .....	9
1.1	Työn tausta ja tavoitteet .....	9
1.2	Työn rakenne .....	10
1.3	Toimeksiantaja .....	10
2	HUONEISTOJEN VÄLISEN SEINÄN VAATIMUKSET .....	11
2.1	Paloluokitus.....	11
2.2	Äänitekninen suunnittelu .....	12
2.2.1	Massalaki.....	12
2.2.2	Resonanssi-ilmiö .....	13
2.2.3	Koinsidenssi-ilmiö .....	13
3	KAKSOISRUNKOSEINÄ .....	14
3.1	Rakenne.....	14
3.2	Äänitekninen toiminta.....	14
3.3	Rakenteen ilmaääneneristävyyden laskeminen.....	15
4	KAHDEN ERILLISEN ELEMENTIN RATKAISU.....	16
4.1	Rakenne.....	16
4.2	Valmistus .....	16
4.3	Ongelmat.....	17
5	RATKAISUT KAKSOISRUNKOSEINÄN VALMISTUKSEEN YHTENÄ ELEMENTTINÄ.....	18
5.1	Aikaisemmin valmistettu kaksoisrunkoseinäelementti.....	18
5.2	Ratkaisut toimivampaan elementtiin.....	18
5.2.1	Ratkaisu 1: Peltiranka .....	18
5.2.2	Ratkaisu 2: Kaksi erillistä elementtiä jäykemmällä rungolla.....	19
5.2.3	Ratkaisu 3: Nostopaikkojen leveämmät tolpat.....	19
5.3	Löytyneen ratkaisun soveltuvuus.....	19

5.4 Ehdotus uudeksi rungoksi .....	19
5.5 Rakenteen teoreettinen toimivuus.....	24
6 YHTEENVETO .....	26
LÄHTEET .....	27

## KUVALUETTELO

<b>Kuva 1.</b> Paloluokan määrittäminen .....	10
<b>Kuva 2.</b> Uusi runkorakenne .....	20
<b>Kuva 3.</b> Runkojen välinen liitos .....	21
<b>Kuva 4.</b> Elementtien välinen liitos .....	22
<b>Kuva 5.</b> Limityspituus .....	23
<b>Kuva 6.</b> Tolppien viisteet .....	24

## **LIITELUETTELO**

**LIITE 1.** Kytkemättömän ja kytketyn kaksoisrunkoseinän ääneneristävyydet 500 Hz:n taajuudella.

**LIITE 2.** Kytkentöjen vaikutus kaksoisrungon ääneneristävyyteen eri taajuuksilla.

**LIITE 3.** Laskelmien kaavakokoelma.

## KÄSITTEET

Ilmaääneneristysluku	Kuvaa rakenteiden ja tilojen välistä ilmaääneneristävyttä.
Kaksoisrunkorakenne	Kahdesta erillisestä runkopuoliskosta muodostettu rakenne, jossa ei ole mekaanisia kytkentöjä puoliskojen välillä.
Mekaaninen kytkentä	Kahden kappaleen välinen jäykkä liitos.
Suurelementti	Tehdasvalmisteinen rakentamisessa käytettävä tuote, joka yhdessä muiden suurelementtien kanssa muodostaa rakennuksen ulkoseinät. Suurelementeiksi lasketaan ainoastaan nosturilla siirrettävät osat.
Ääniaalto	Äänen kulkeutuminen väliaineessa pitkittäisenä aaltoliikkeenä. Ilman välityksellä kulkeutuvaa ääntä kutsutaan ilmaääneksi ja rakenteessa mekaanisena värähtelynä etenevää ääntä runkoääneksi.



# 1 JOHDANTO

Huoneistojen välinen seinä nimensä mukaan jakaa kaksi rakennuksen huoneistoa omiksi osastoikseen, jotka täyttävät Suomen rakennusmääräyskokoelman määräykset paloturvallisuuden ja ääneneristyksen osilta. Puurakentamisessa palo-osastoinnin vaatimukset täytetään seinärakenteen pintojen kipsilevytyksellä ja liitoksien tiivistämisellä /1/.

Asumismukavuuteen vaikuttaa merkittävästi rakennuksen ääneneristys. Huoneistojen väliselle seinälle asetettujen vaatimusten pohjalta toimiva ratkaisu puurakenteiselle seinälle saadaan kaksoisrunkorakenteella, jonka ääneneristysominaisuudet perustuvat seinän sisältämän ilmatilan ja erillään sijaitsevien levymassojen jousimassayhdistelmään. Seinän liittyminen muihin rakenteisiin tulee myös tehdä mekaanittomiksi /2/.

## 1.1 Työn tausta ja tavoitteet

Opinnäytetyön tavoitteena on kehittää talotehtaalte huoneistojen välisen seinän kaksoisrunkorakenne, joka täyttäisi Suomen rakennusmääräykokoelman osan C1 akustiset vaatimukset ja osan E1 palovaatimukset.

Tällä hetkellä talotehdas valmistaa huoneistojen väliset seinät kahdesta erillisestä elementistä, jotka täyttävät aiemmin mainitut määräykset. Kyseisten elementtien heikkouksina ovat olleet hauraus nostoissa ja seinän saaminen suoraksi asennusvaiheessa. Tehtaalla on joskus valmistettu kyseisiä seiniä kaksoisrunkoisina elementteinä, mutta runkojen väliset liitosratkaisut ovat mahdollistaneet äänivärsähtelyiden siirtymisen huoneistojen välillä.

Työn tarkoituksena on suunnitella ääniteknisesti toimiva seinäelementti, joka on taloudellisesti kannattava ja soveltuva tehtaalla työskentelytapoihin. Ongelmaa lähestytään tutkimalla vanhaa kaksoisrunkoista elementtiä ja sen liitoksien muokkaamista mekaanittomiksi.

## 1.2 Työn rakenne

Tämän opinnäytetyön teoreettisessa osuudessa perehdytään kyseiselle rakenteelle asetettuihin vaatimuksiin palosuojauksessa ja ääneneristyksessä. Lisäksi tutustutaan äänitekniikan teoriaan ja kaksoisrunkoseinän rakenteeseen.

Toiminnallisessa osuudessa analysoidaan toimeksiantajan käyttämiä väliseinärakenteita ja etsitään ratkaisua heidän käyttämänsä kaksoisrungon parantamiseksi. Mahdollisen löytyneen ratkaisun toimivuutta arvioidaan laskelmin ja tilaisuuden suotaessa melumittauksin.

Yhteenvedossa käydään läpi löytyneet ratkaisut ja arvioidaan niiden taloudellisuutta, ääneneristävyyttä ja soveltuvuutta toimeksiantajan käytäntöihin.

## 1.3 Toimeksiantaja

Tämän opinnäytetyön toimeksiantajana on vuonna 1978 perustettu Oy Simons Element Ab, joka valmistaa puisia suurelementtejä pien-, pari- ja rivitaloihin sekä teollisuushalleihin ja julkisiin rakennuksiin. Vöyrillä sijaitseva tehdas työllistää noin 60 henkilöä /3/.

Elementit valmistetaan lämpimissä ja kuivissa sisätiloissa pohjamaalattuja julkisivupaneeleja myöden sekä toimitetaan ovet ja ikkunat valmiiksi asennettuina. Ennen talotoimitusta yrityksen oma pystytysryhmä tarkastaa perustuksen ja asentaa alajuoksut, näin varmistetaan talopakettin nopea ja sujuva pystytys /3/.

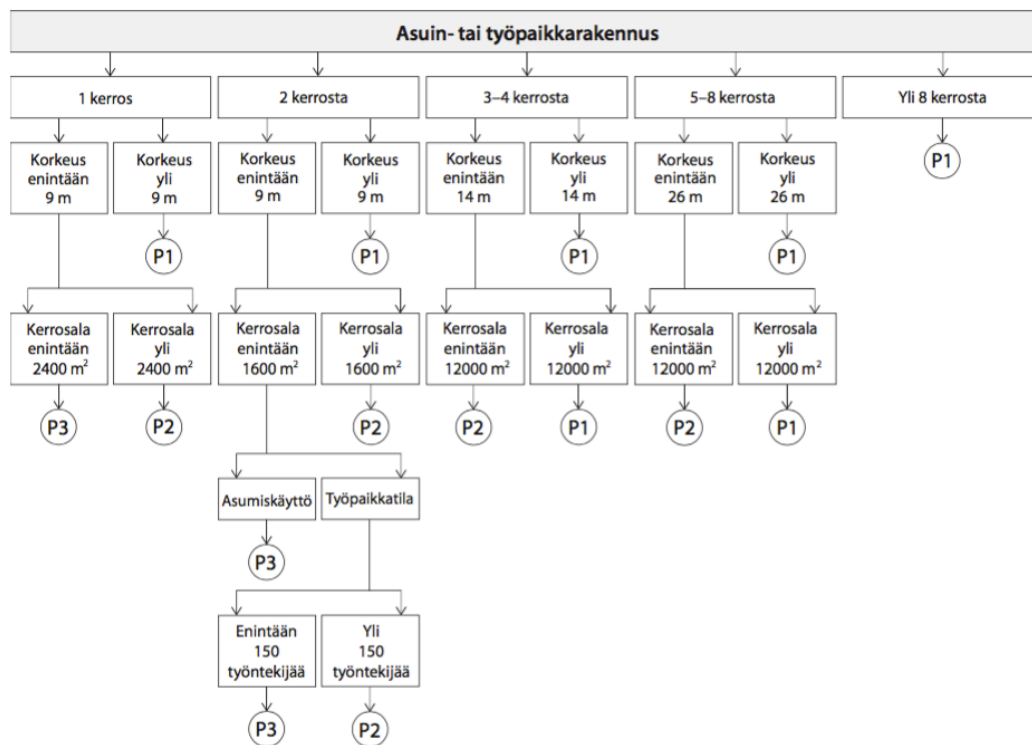
Suoritin kesällä 2017 työharjoitteluni kyseisessä yrityksessä tuotantotyöntekijänä, joten sain aiheeseeni näkökulman elementtien konkreettisesta valmistamisesta.

## 2 HUONEISTOJEN VÄLISEN SEINÄN VAATIMUKSET

Huoneistojen välisten seinien tulee täyttää osastoivoivalle rakenteelle asetetut palonkestävyysvaatimukset, sekä ilmaaneneristysvaatimukset /1/.

### 2.1 Paloluokitus

Rakennukset ovat jaettu kolmeen paloluokkaan: P1, P2 ja P3, jotka ovat määritelty Suomen rakennusmääräyskokoelman osassa E1. Paloluokkaan vaikuttavina tekijöinä ovat rakennuksen koko, käyttötapa ja henkilömäärä /4/.



**Kuva 7.** Paloluokan määrittäminen /4/.

Simons Elementin huoneistojen väliset seinäelementit valmistetaan pääasiassa riivi- ja paritalokohteisiin, jotka sijoittuvat P3-luokkaan. Käyttötapaosastoinnin perusteella huoneistot luokitellaan omiksi palo-osastoikseen. Osastoivien rakennusosien vaatimus tiiveydelle ja eristyskyvyille on EI 30 ja rakennustuotteille luokka D, johon kuuluvat sahatavara, puutuotteet, jotkut muovituotteet ja osa solupolyuretaanieristeistä /5/.

## 2.2 Äänitekkinen suunnittelu

Asuinrakennuksien rakenteille on määritetty ääneneristysvaatimukset Rakennusmääräyskokoelman osassa C1, joiden tarkoituksena on varmistaa asuinrakennusten riittävän hyvät ääniolosuhteet.

Arkkitehtisuunnittelussa on huomioitava huoneistojen melua tuottavien tilojen asettamisesta vastakkain samalle huoneistojen väliselle seinälle. Muut kuin nukkumiseen ja oleskeluun käytettävät tilat on suositeltavaa sijoittaa ”äänipuskuriksi” oleskelu- ja nukkumistilojen eteen /2/.

Huoneistojen väliselle seinälle ääneneristysvaatimuksena on että, ilmaääneneristysluku  $R'_w$  on vähintään 55 dB. Käytännössä kyseisellä ilmaääneneristysluvulla saadaan estettyä voimakkaan puheen kuulumisen huoneistojen välillä /1/.

### 2.2.1 Massalaki

Ääneneristävyysmassalaki perustuu rakenteen kykyyn eliminoida ääniaaltojen siinä synnyttämä värähtely ja sitä kautta siirtymisen rakenteen toiselle puolelle. Kyseistä teoriaa hyödynnetään kivrakenteisilla seinillä /2/.

Rakenteen massalain mukainen ilmaääneneristysluku voidaan likimain laskea kaavalla:

$$R = 20 \log_{10} m'f - 48 \text{dB} \quad (1)$$

$R$  = rakenteen ilmaääneneristävyys [dB]

$m'$  = rakenteen pintamassa [ $\text{kg}/\text{m}^2$ ]

$f$  = äänentaajuus [Hz]

Kyseinen kaava soveltuu vain paksujen ja tiheiden kivrakenteiden ilmaääneneristävyyden laskemiseen. Kyseisellä rakenteella koinsidenssin rajataajuus on alle

100Hz, jolloin ilmaääneneristys kasvaa massalain tavalla koko tajuusalueella 100 – 3150 Hz /2/.

Ohuella levyllä massalaki pätee vain pienillä taajuuksilla kunnes saavutetaan koinsidenssin rajataajuuden  $f_c$  puolikas, jonka jälkeen ääneneristävyys laskee alle massalain arvon /2/.

### 2.2.2 Resonanssi-ilmio

Rakenteessa syntyy resonanssi-ilmio, kun siihen kohdistuvien ääniaaltojen taajuus on rakenteen ominaistaajuusalueella. Resonanssi-ilmiossa rakenteen ääneneristävyys heikkenee siihen kohdistuvien ääniaaltojen antamasta energiasta, jolloin rakenne värähtelee ja säteilee ääntä voimakkaasti /2/.

Rakenne saavuttaa värähtelytaajuuden maksimiarvon alimmassa resonanssitaajuudessa  $f_0$ , joka on oltava ihmisen kuuleman taajuusalueen 100 Hz – 3150 Hz alapuolella /2/.

### 2.2.3 Koinsidenssi-ilmio

Koinsidenssi-ilmio on ominainen rakennuslevyille, joiden pintaan tietyssä kulmassa kohdistuvan ääniaaltorintaman ja levyssä äänen aiheuttama taivutusaalto etenevät samalla nopeudella aiheuttaen yli- ja alipainenrintaman. Näiden rintamien ja levyn taivutusaallon laakso- ja huippukohtien kohdatessa levyn ääneneristys alituu massaansa nähden. Kullekin yksinkertaiselle rakenteelle on oma koinsidenssitaajuutensa  $f_c$ , jonka yläpuolisilla taajuuksilla ilmio esiintyy. Ohuilla rakennuslevyillä koinsidenssitaajuus on välillä 2000 Hz – 3000 Hz. Rakenteen koinsidenssitaajuuden tulisi olla taajuusalueen 100 Hz – 3150 Hz yläpuolella /2/.

### 3 KAKSOISRUNKOSEINÄ

Puurakenteisessa huoneistojen välisessä seinässä vaadittavaan ilmaaneneristyslukuun päästään vain kaksoisrunkoseinällä /6/.

#### 3.1 Rakenne

Optimaalisessa rakenteessa on kaksi erillistä seinärunkoa ilman mekaanisia yhteyksiä runkojen välillä. Runkotolppien tulee olla limitettyjä, sillä kohdikkain olevat runkotolpat heikentävät paikallisesti seinän ääneneristävyyttä ilmatilan pienentyessä. Kaksoisrunkorakenteen kumpaankin pintaan tulee kaksi kipsilevykerrosta toimivaksi massaksi. Ilmatilaa ei saa levyttää /2/.

#### 3.2 Äänitekniinen toiminta

Kaksoisrunkoseinän ääneneristävyys perustuu jousi-massayhdistelmään. Yhdistelmässä jousena toimii runkojen välinen ilmatila ja massana erillään olevat levymassat. Seinän ilmatilan tulee olla vähintään 145 mm, jolloin voidaan täyttää rakenteen ääneneristysvaatimus. Ilmatila antaa seinärakenteelle joustavuuden, joka vähentää värähtelyn siirtymistä seinäpuoliskolta toiselle. Ilmatilan täyttäminen absorboivalla materiaalilla vähentää korkeiden taajuuksien aiheuttamien seisovien aaltojen vaikutusta. Absorboivanana materiaalina mineraalivillan käyttäminen vähentää seisovien aaltojen vaikutusta noin 5 – 15 dB /2/.

Molemminpuolisella tuplakipsilevytyksellä ja 145 mm:n ilmatilalla seinärakenteen alin resonanssitaajuus on laskennallisesti 53 Hz, joka on ihmisen kuulon kannalta tärkeän taajuusalueen alapuolella /2/.

Seinän koinsidenssitaajuuden tulisi olla mahdollisimman korkea, joten rakenteessa tulisi käyttää ohuita rakennuslevyjä. Kyseisessä rakenteessa ohuina rakennuslevyinä toimivat 13 mm kipsilevyt kahtena kerroksena kummallakin seinäpuoliskolla, joita ei saa liimata toisiinsa. Toisiinsa liimattuina kaksi ohutta levyä muodostaisi yhden paksumman levyn ja seinän koinsidenssitaajuus laskisi /2/.

Yhtenä elementtinä valmistetun kaksoisrunkoseinän levypuoliskot ovat kytkettyinä rungon välityksellä, jolloin ilmaääneneristävyys lasketaan huomioiden äänienergian siirtyminen ilmatilan, rungon ja liitoksien välityksellä. Rakenteen massan vuoksi kytkennät heikentävät ääneneristävyyttä vasta 100 – 200 Hz yläpuolella /6/.

### 3.3 Rakenteen ilmaääneneristävyiden laskeminen

Ääneneristävyiden lähtökohtana lasketaan koko seinän massalakiarvo

$$R_M = 20 \log_{10} [(m'_1 + m'_2)f] - 48 \quad (1)$$

Siltataajuuden  $f_{br}$  yläpuolella alkaa rankojen ääneneristävyyttä heikentävä vaikutus, jossa ääneneristävyys  $R_{br}$  voi korkeintaan olla  $R_M + \Delta R_M$ .

$$f_{br} = f_{mam} \left[ \frac{\pi b f_c}{2 c_0} \left[ \frac{m'_1}{m'_1 + m'_2} \right]^2 \right]^{\frac{1}{4}} \quad (2)$$

$f_{mam}$  = massa-ilma-massa-resonanssin ominaistajuus

$b$  = rankojen välinen etäisyys

$f_c$  = levyn koinsidenssin rajataajuus

$c_0$  = äänen nopeus ilmassa (343 m/s)

$m'$  = pintalevyn pintamassa

$$\Delta R_M = 10 \log_{10} (b f_c) + 20 \log_{10} \frac{m'_1}{m'_1 + m'_2} - 18 \quad (3)$$

$$R_{br} = R_M + \Delta R_M \quad (4)$$

## 4 KAHDEN ERILLISEN ELEMENTIN RATKAISU

Tällä hetkellä Simons Element toteuttaa huoneistojen väliset seinänsä kahtena erillisenä elementtinä, jotka kiinnitetään kohteessa alaohjauspuihin ja liitetään yläreunoistaan naulapelleillä toisiinsa.

### 4.1 Rakenne

Elementin runkotolpat ovat 39x66 kertopuuta ja ylä- ja alaohjauspuut 42x66 sormijatkettua mitallistettua kuusta. Runkotolppien yläpäiden lovetuksiin naulataan kaksi 32x100 sahatavaralautaa koko elementin matkalle kantopalkiksi.

### 4.2 Valmistus

Elementit valmistetaan puristinpöydällä. Runkojen puutavarat ovat mittaanvalmistettu sahausosastolla.

Kasaus alkaa merkitsemällä tolppien paikat ylä- ja alajuoksuihin piirustusten mukaan, jonka jälkeen tolpat naulataan runkonaulaimilla juoksuihin. Ennen puristusta varmistetaan rungon ristimitta. Tolppien yläpäiden lovetuksiin naulataan kantopalkit ja alajuoksuun vanerisoiro, jolla elementin alapää kiinnitetään työmaalla lattian alajuoksuun. Nostoliinoiden paikat sijoitetaan elementin painopiste ja nostolaiteen lenkkien välinen etäisyys huomioiden. Nostoliinat pujotetaan yläjuoksuun ja runkotolppiin porattujen reikien läpi.

Elementti levytetään valmismittaan sahatuilla kipsilevyillä kahdessa kerroksessa ja kerrosten saumat limitettyinä. Ensimmäinen kipsilevykerros naulataan harvalla naulavälillä ja päällimmäinen tiuhemmalla välttämällä eri kerrosten naulojen kohtaaminen.

Kun elementin levytys on valmis, niin siihen niitataan suojamuovi ja elementti käännetään.

Kääntöpuolelta elementti villoitetaan 70 mm paksulla mineraalivillaeristeellä ja päällystetään pahvilla. Toiseen kahdesta elementistä niitataan 150 mm leveä mi-



neraalivillasoiro kiertämään elementin yläreuna ja sivut varmistaen että asennettaessa elementit eivät ole mekaanisesti kiinni toisissaan.

### **4.3 Ongelmat**

Kyseisellä valmistustavalla on havaittu ongelmia elementin nostoissa ja asennusvaiheessa.

Ensimmäisenä ongelmakohtana ilmenee elementin kääntövaiheessa rakenteen velttous. Yleensä elementit ovat olleen noin 9 metriä pitkiä ja 2,7 metriä korkeita. Kääntövaiheessa elementille on jo kertynyt huomattavasti massaa kipsilevytyksen johdosta ja elementin ollessa vain noin 90 mm paksu, niin elementin päädyt ovat roikkuneet huomattavasti. Kääntövaiheen loppupuoliskolla, kun elementtiä aletaan laskemaan takaisin pöydälle, on kriittisin vaihe, jossa pahimmassa tapauksessa nosturin nyintä, ja yläohjauspuun oksien osuessa nostoliinujen läpimenoareikien läheisyyteen, ovat aiheuttaneet elementin murtumisen.

Elementin asennusvaiheessa on esiintynyt ongelmia seinän suoraksi saamisessa, johtuen elementtien välisen kiinnityksen puuttumisesta seinän keskiosassa.

## **5 RATKAISUT KAKSOISRUNKOSEINÄN VALMISTUKSEEN YHTENÄ ELEMENTTINÄ**

Simons Element on aikoinaan valmistanut huoneistojen väliset seinänsä yhtenä kaksoisrunkoelementtinä, mutta se ei ole täyttänyt kaikkia rakenteelle määritettyjä äänitekniisiä ominaisuuksia. Tehtaan toiveena olisi taas ryhtyä valmistamaan kyseisiä elementtejä poistaen kahden elementin menetelmällä valmistettujen seinien ongelmatekijät.

### **5.1 Aikaisemmin valmistettu kaksoisrunkoseinäelementti**

Kaksoisrungon puolikkaat ovat rakenteeltaan samanlaiset kuin kahden erillisen elementin valmistustavassa, mutta rungot ovat kytketty toisiinsa päistään ja keskiseinällä nostopaikkojen kohdilla, joissa puoliskojen runkotolpat on myös jouduttu laittamaan kohdikkain. Kytkentä on toteutettu naulalevyillä tolppien kummallakin puolella.

Kyseisen rakenteen äänitekniinen toiminta on heikoin edellä mainituissa nostokohdissa, joissa ilmatilan absorboivaa eristekerrosta ole lainkaan sekä naulalevyt mahdollistavat runkoäänen välittymisen puoliskolta toiselle.

### **5.2 Ratkaisut toimivampaan elementtiin**

Nostorasituksia kestävän mekaanittoman liitoksen ratkaisun löytäminen vaati perehtymistä erilaisiin rakennusmateriaaleihin ja kiinnikkeisiin, joita ei tavallisesti käytettäisi pientalorakentamisessa.

#### **5.2.1 Ratkaisu 1: Peltiranka**

Rakenteessa nostokohtien kohdalla olevat tolpat korvattaisiin 120 mm XR-teräsranangoilla, jotka ovat muotoiltu antamaan parempi ääneneristävyys. Rangan ja levytyksen väliin asennettaisiin 12,5 mm:n tärinäeriste soivot, jolloin 145 mm:n ilmatila toteutuisi.

Toteutustavan haasteena olisi kuitenkin nostopaikkojen toteuttaminen teräsran-kaan.

### **5.2.2 Ratkaisu 2: Kaksi erillistä elementtiä jäykemmällä rungolla**

Vaihtoehtona olisi myös jatkaa kahden erillisen elementin valmistamista, mutta runkoja jäykistettäisiin kestävämpään nostot ja pysymään suurempina kohteessa. Ratkaisun ongelmana olisi kuitenkin jäykemmän runkorakenteen aiheuttama resonointi.

### **5.2.3 Ratkaisu 3: Nostopaikkojen leveämmät tolpat**

Tässä ratkaisussa nostopaikkojen kohdille sijoitetaan vastakkaisille rungoille 48x98 runkotolpat vierekkäin. Tolppien päät viistetään ohjauspuiden paksuteen 66 mm. Vastakkaiset tolpat limittyvät 51 mm ja ne liitetään toisiinsa naulaamalla. Liitoksen väliin laitetaan mineraalivillakaista vähentämään runkoäänien välittymistä puolelta toiselle. Kyseisellä tavalla valmistaessa ongelmaksi muodostuu rakenteen joustavuuden varmistaminen.

Naulaamisen sijaan tolpat voitaisiin liittää toisiinsa pulteilla ja lukkomuttereilla. Pulttiliitoksessa joustavuus saataisiin vuoraamalla pultit vaahtokumilla ja käyttämällä kumiprikkoja. Tälle liitostavalle 48x98 tolppien sijaan joudutaan käyttämään leveämpää tolppaa, jotta liitoksen pultin määräävä reunaetäisyys täytyisi.

## **5.3 Löytyneen ratkaisun soveltuvuus**

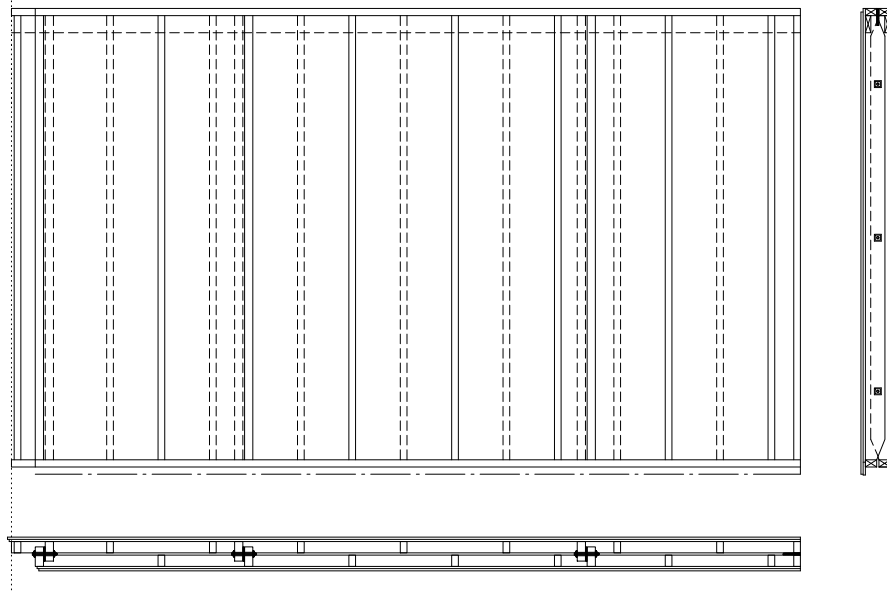
Soveltuvimman ratkaisun valintakriteereinä merkittävämmät ovat seinän äänitekniinen toimivuus, valmistustapa ja käytettävät materiaalit. Varteenotettavin ratkaisu olisi leveämpien tolppien sijoittaminen nostopaikkoihin. Seinä säilyttäisi joustavuutensa pulttiliitoksen solukumin liikuntavaralla. Seinän valmistustapa ei eroaisi vanhasta kaksoisrunkoelementistä muuten kuin kyseisten tolppien osilta. Tehtaalla on varastossa tarvittavaa puutavaraa, jota on käytetty mm. koolauksissa. Elementtityypin valmistaminen aiheuttaisi tehtaalle vain pieniä lisähankintoja.

## **5.4 Ehdotus uudeksi rungoksi**

Uusi kaksoisrunkorakenne eroaa vanhasta rakenteesta vain runkojen välisissä liitoksissa. Esitetty kehitelmä keskittyy runkojen ja toisen huoneistojenvälisen sei-

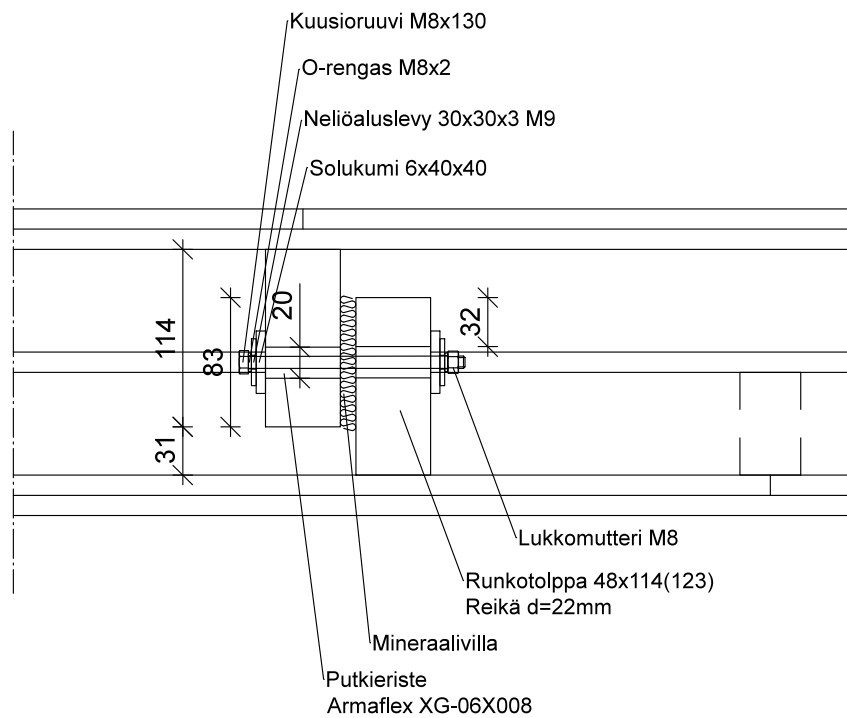
nän liittämiseen. Väliseinän ja ulkoseinän välisessä liitoksessa olisi suotavaa poh-  
tia nostojen ja kuljetusten aikaista runkojen välistä kytkentää, joka olisi helposti  
purettavissa seinän asennusvaiheessa.

Runkojen väliset kytkennät tehdään pulttiliitoksin, joissa seinän joustavuutta on  
parannettu pulttien liitosreikien vuoraamisella putkieristeellä. Liitoskohdat sijait-  
sevat nostokohtien ja seinän jatkosliitoksen vastapuolien limitetyissä runkotolppis-  
sa (Kuva 2.).



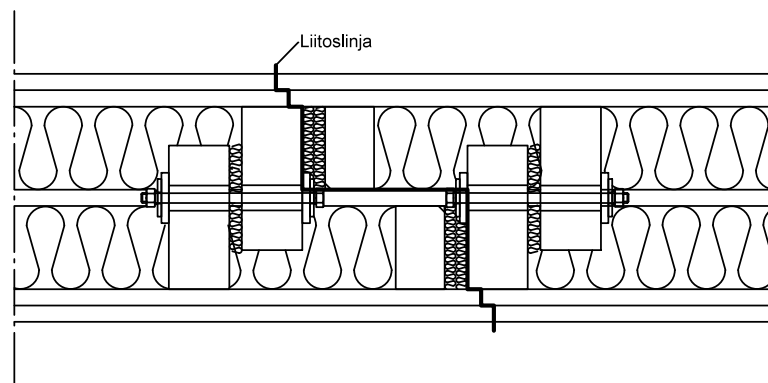
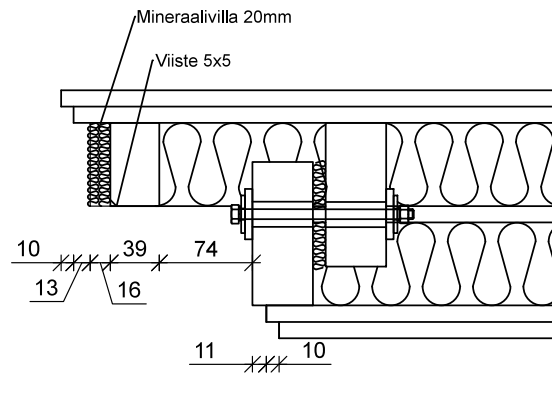
**Kuva 8.** Uusi runkorakenne.

Liitoksen pulteissa käytetään lukkomuttereita, jolloin liitos voidaan jättää hieman  
löysäksi ja koko seinärakenne pysyy joustavampana. Pultin ja putkieristeen yh-  
teishalkaisija on 20 mm ja tolppien reiät ovat 22 mm asentamisen helpottamiseksi.  
Aluslevyjen ja puurungon väliin asennetaan solukumipalat estämään mekaanista  
kosketusta. Aluslevyn ja mutterin ja pultinkannan kosketus estetään o-renkaalla.  
Aluslevyn reikään voidaan laittaa tiivistemassaa välttämään kosketusta pultin  
kanssa (Kuva 3.).



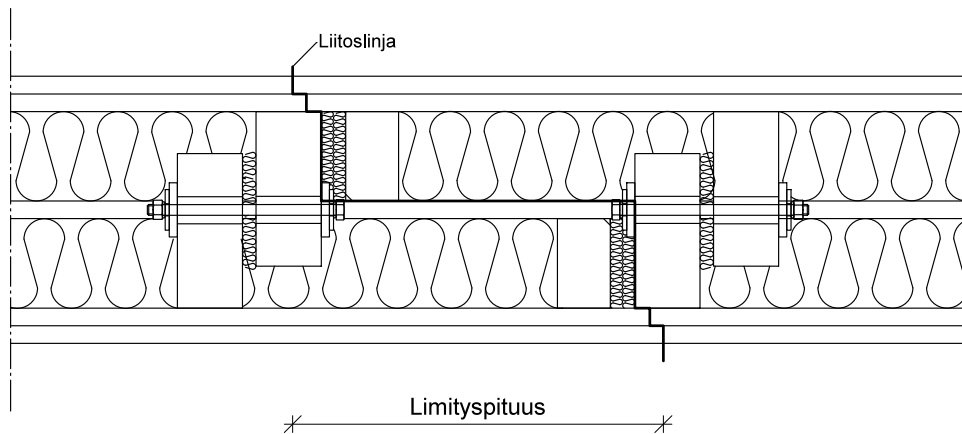
**Kuva 9.** Runkojen välinen liitos.

Kahden vierekkäin tulevan väliseinän liitos toteutetaan samalla periaatteella kuin runkojen välinen liitos. Elementin reunimmaiseen tolppaan tehdään vähintään 5x5 mm:n viiste, jotta kyseisen tolppa ja viereisen seinän liitospultti ole kytköksissä toisiinsa (Kuva 4.).



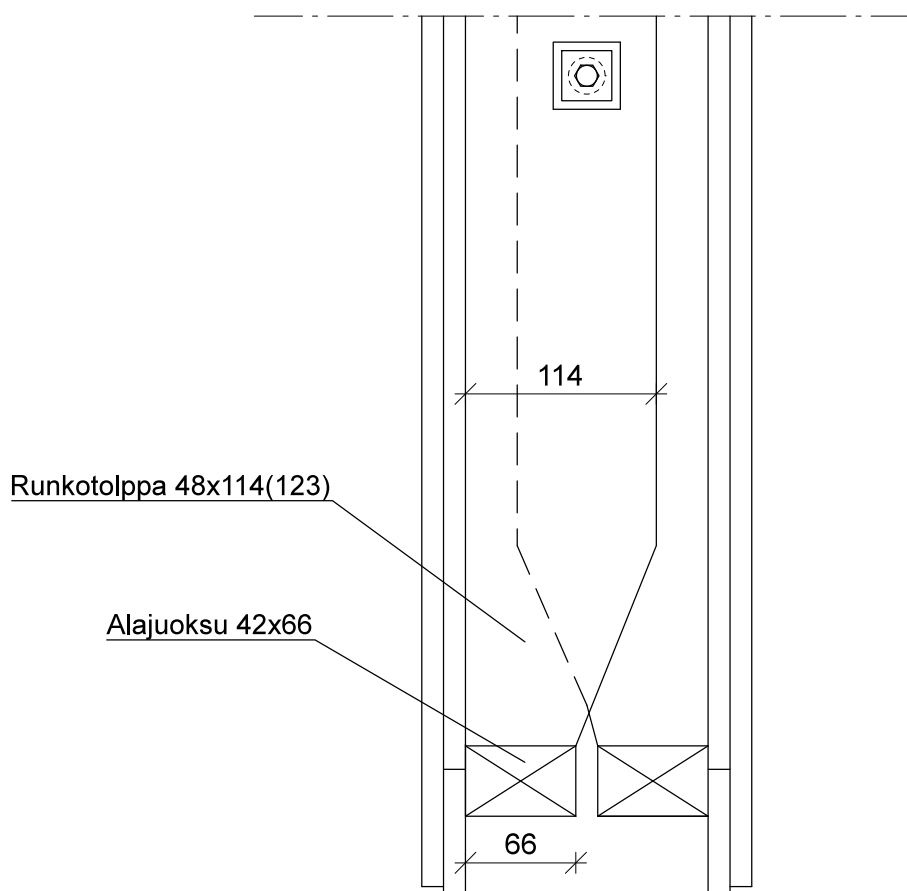
**Kuva 10.** Elementtien välinen liitos.

Liitoksen limityspituutta kasvattamalla saadaan liitoksien puumassat etäämmälle toisistaan, jolloin liittymää saadaan joustavammaksi (Kuva 5.).



**Kuva 11.** Limityspituus.

Liitoksen leveämmät tolpat viistetään ylä- ja alapäistään vastaamaan ohjauspuita, jolloin estetään runkojen mekaaninen kontakti. Tolppien viisteet työstetään sahausosastolla ja liitosreiät porataan kokoonpanon yhteydessä (Kuva 6.).



**Kuva 12.** Tolppien viisteet.

### 5.5 Rakenteen teorettinen toimivuus

Rakenneratkaisun tarkan ilmaääneneristysluvun laskeminen on liitoksen monimutkaisuuden vuoksi hankalaa. Laskemalla vanhan kaksoisrunkoseinän ilmaääneneristysluku ja olettamalla, että uuden ratkaisun liitokset eivät ole mekaanisesti kytkettyjä, niin saadaan suuntaa antava arvio ratkaisun toimivuudesta.

Levyrakenteinen seinä voidaan rakentaa kolmella perustavalla, joissa vaikuttavina tekijöinä ovat runkojenväliset kytkennät. Kytkemättömässä seinässä ei ole lainkaan runkojen välisiä kytkentöjä, jolloin äänienergia siirtyy vain ilmatilan välityksellä. Tämä tapa voidaan toteuttaa vain paikallaan rakentaen. Toinen tapa on kytkentä kiskoin, jossa rungot ovat kytkettyinä toisiinsa vain päistään. Äänienergia siirtyy ilmatilan ja päiden kytkentöjen välityksellä. Tämä tapa vastaa kahden eril-



lisen elementin menetelmällä valmistettuihin seiniin. Kolmannessa tavassa rungot ovat kytkettyinä rangoin ja kiskoin, jossa äänienergia kulkeutuu kolmea reittiä pitkin, joka on ominaista vanhan kaksoisrunkoseinän rakenteessa /6/.

Liitteessä 1 on laskettu kytkemättömän ja rangoin kytketyn seinän ilmaääneneristävyydet. Laskuissa on käytetty rankavälinä vanhan kaksoisrungon kytkettyjen tolppavälien keskiarvoa, joka on noin 1,5 m. Rankaväleihin myös vaikuttaa kahden vierekkäisen elementin liitos, jossa pienet kytkentävälit heikentävät koko rakenteen keskiarvoa.

Liitteessä 2 on laskettu kytkemättömän seinän, vanhan kaksoisrunkoseinän ja kahden erillisen elementin muodostaman seinän ääneneristävyydet eri taajuuksilla. Laskuissa rankaväleinä ovat 1,5 m kaksoisrunkoseinässä ja kahden erillisen elementin seinässä on huomioitu elementtien päiden kytkennät eli noin 8,5 m.

Liitteessä 3 on esitetty laskelmissa käytetyt kaavat /6/.

Tuloksena näemme kuinka kytkentöjen määrä vaikuttaa rakenteen ääneneristävyyteen. Jos ratkaisuna esitetty liitos toimii odotetulla tavalla, niin voimme olettaa, että rakenne voi saavuttaa saman ääneneristävyyden kuin kahden erillisen elementin menetelmällä.

Rakenne on täysin muokattavissa toimeksiantajan rakennesuunnittelijan toimesta. Rakenteeseen voi lisätä joustavuutta lisäämällä pultin reiän välystä, mutta ottaen huomioon, että reiän reunaetäisyys pienenee reiän halkaisijan kasvaessa. Varmuutta liitoksen mekaaniselle kestävyydelle voidaan saada esimerkiksi asentamalla tolppaan naulalevy estämään pultin lävistymistä reiän reunasta nostoissa. Putkieristeen tilalle voi myös pohtia pultin vuoraamista mineraalivillalla, mutta sen toteuttaminen voi olla hankalaa.

## 6 YHTEENVETO

Tämän työn tarkoituksena oli löytää Oy Simons Element Ab:lle uusi tapa toteuttaa huoneistojen väliset seinänsä yhtenä elementtinä. Lähtökohtana oli omakohtainen työkokemukseni kyseisen tehtaan elementtien valmistuslinjalla, sekä aiemmin valmistetun kaksoisrunkoelementin piirustukset. Ratkaisun löytäminen vaati perehtymistä pientalojen osastoiville väliseinille asetettuihin vaatimuksiin ja ilmaääneneristysluvun määrittävien ääniteknillisiin ilmiöihin.

Kehitely liitosrakenne antaa ratkaisun runkojen välisen kytkennän joustavuuden parantamiselle. Liitoksen varma toimivuus voidaan todeta vain valmiin kohteen melumittauksin. Liitteissä olevat laskelmat ovat puhtaasti teoreettisia ja kyseisen liitoksen vaikutukset rakenteen ääneneristävyydelle perustuvat vain sille oletukselle, että uusi liitos on vanhaa liitosta joustavampi.

Työhön olisi ollut mielenkiintoista suorittaa melumittaukset kohteissa, joissa on käytetty vanhaa kaksoisrunkoelementtiä ja verrata uudesta seinästä saatuihin tuloksiin.

Tämän opinnäytetyön tekeminen oli todella kiinnostavaa. Ratkaisun etsiminen vaati myös innovatiivista ideointia liitokselle vaaditun kestävyuden ja eristävyysyden yhteensovittamiseksi. Toivon että kehittelemäni ratkaisu päätyisi tuotantoon tai että se antaisi uusia ideoita elementtien liitoksien kehittämiseen.

## LÄHTEET

/1/ RT 82-10802 Pientalon puurakenteet. Avoin puurakennusjärjestelmä. 2004. Rakennustieto Oy. RT-Net palvelu. RT 82-10820. Viitattu 10.3.2018. <https://www.rakennustieto.fi/kortistot/rt/kortit/10820>

/2/ Lahtela, T., 2004. Ääneneristys puutalossa. Puurakenteisen asuinrakennuksen ääneneristävyyden suunnitteluohje. Helsinki. Wood Focus Oy

/3/ Simons Element. Viitattu 8.3.2018. <http://www.simonselement.fi/?page=KOTI>

/4/ RT 08-1139 Rakennusten paloluokat ja paloluokan määrittäminen.

/5/ RT 08-11188 P3-luokan rakennusten palotekniset vaatimukset.

/6/ Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 2007. RIL 243-1-2007, Rakennusten akustinen suunnittelu, akustiikan perusteet. Helsinki. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.

## Liite 1.

Esimerkkinä kytkemättömälle ja kyketylle kaksoisrungolle laskettu ääneneristävyyss 500Hz:n taajuudella. Rakenteen ilmapäli ja levytykset ovat ominaisia Oy Simons Element Ab:n väliseinäelementeille.

**Ohuen rakennuslevyn ilmaääneneristävyyss**

Koinssidenssin rajataajuus $f_c$			
$c_0 =$	343 m/s	Äänen nopeus ilmassa	
$\mu =$	0,25		
$E =$	3 Gpa		
$h =$	0,0125 m	Levyn paksuus	
$m'_{1,levy1} =$	8,8 kg/m <sup>2</sup>	Yhden pintalevyn massa (Rakenteen pinnoissa tuplakipsilevyt) Esimerkkejä kipsilevyjen painoista: KN13 = 8,8 kg/m <sup>3</sup> , KEK13 = 10,2 kg/m <sup>3</sup> , KR13 = 12,8 kg/m <sup>3</sup> Rakenteen sisempi levy = levy1 ja ulompi = levy2	
$m'_{1,levy2} =$	10,2 kg/m <sup>2</sup>		
$m'_{2,levy1} =$	8,8 kg/m <sup>2</sup>		
$m'_{2,levy2} =$	10,2 kg/m <sup>2</sup>		
$f =$	500 Hz		taajuus
$f_{c,1,levy1} =$	2434 Hz		
$f_{c,1,levy2} =$	2620 Hz		
$f_{c,2,levy1} =$	2434 Hz		
$f_{c,2,levy2} =$	2620 Hz		
$f_c =$	<b>2527 Hz</b>	Levyjen yhteinen koinssidenssi rajataajuus	

## Ohuen rakennuslevyn ilmaääneneristävyyss R

$R_{1,levy1} =$	25 dB	
$R_{1,levy2} =$	26 dB	
$R_{2,levy1} =$	25 dB	
$R_{2,levy2} =$	26 dB	
$R_{N1} =$	<b>32 dB</b>	$R_{1,levy1} + R_{1,levy2}$
$R_{N2} =$	<b>32 dB</b>	$R_{2,levy1} + R_{2,levy2}$

**Kytkeämättömän kaksinkertaisen levyseinän ilmaääneneristävyyss  $R_{real}$** 

Ilmaääneneristys Rideal, kun ilmapälin oletetaan olevan täysin kaiuton

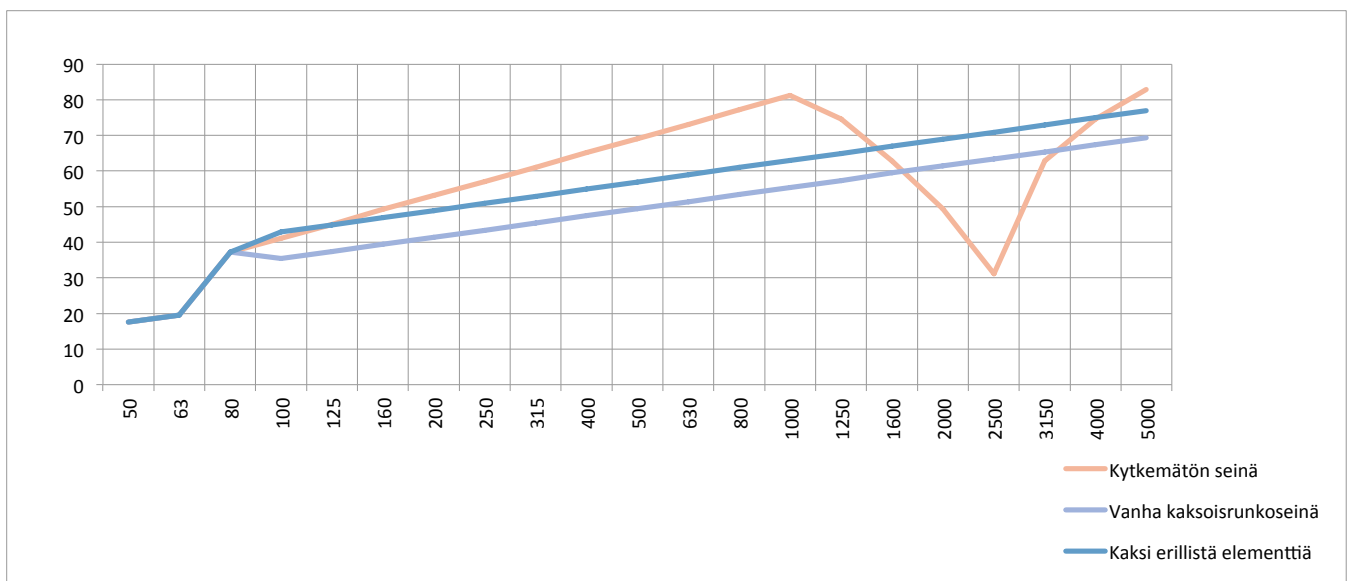
$\rho_0 =$	1,18 kg/m <sup>3</sup>	Ilman tiheys
$c_0 =$	343 m/s	Äänen nopeus ilmassa
$m'_{1,levy1} =$	8,8 kg/m <sup>2</sup>	Yhden pintalevyn massa (Rakenteen pinnoissa tuplakipsilevyt) Esimerkkejä kipsilevyjen painoista: KN13 = 8,8 kg/m <sup>3</sup> , KEK13 = 10,2 kg/m <sup>3</sup> , KR13 = 12,8 kg/m <sup>3</sup>
$m'_{1,levy2} =$	10,2 kg/m <sup>2</sup>	
$m'_{2,levy1} =$	8,8 kg/m <sup>2</sup>	
$m'_{2,levy2} =$	10,2 kg/m <sup>2</sup>	
$m'_1 =$	19 kg/m <sup>2</sup>	Rakenteen pinnan massa kahdella levyllä
$m'_2 =$	19 kg/m <sup>2</sup>	Rakenteen pinnan massa kahdella levyllä
$d =$	0,145 m	Ilmapälin paksuus
$f =$	500 Hz	Taajuus
$f_{mam} =$	68 Hz	Massa-ilma-massa-resonanssin ominaistajuus
$f_1 =$	394 Hz	Rajataajuus
$R_{ideal} =$	<b>69 dB</b>	
Ilmaääneneristys Rreal mineraalivillalla ja ilman.		
$\alpha_{eff,villa} =$	1	Mineraalivillan absorptiosuhde
$\alpha_{eff,ilma} =$	0,05	Ilman absorptiosuhde
$\Delta R_{abs,villa} =$	0 dB	
$\Delta R_{abs,ilma} =$	-13 dB	
$f_1 =$	286 Hz	
$L =$	0,6 m	tolppajako
<b>Rreal.villa</b>	<b>69 dB</b>	<b>Ilmatila täytetty mineraalivillalla</b>
<b>Rreal.ilma</b>	<b>56 dB</b>	<b>Tyhjä ilmatila</b>

**Kytketyn kaksinkertaisen levyseinän ilmaääneneristävyyss**

$b =$	1,5 m	Rankakytkentöjen etäisyys
$R_M =$	38 dB	Koko seinän massalakiarvo
$f_{br} =$	98 Hz	Siltataajuus
$\Delta R_M =$	12 dB	
$R_{br} =$	49 dB	
<b>R =</b>	<b>49,3 dB</b>	<b>Rangallisen seinän ääneneristävyyss</b>

## Liite 2.

Hz	Kytkemätön seinä						Vanha kaksoisrunkoseinä		Kaksi erillistä elementtiä		
	R1.levy1	R1.levy2	R2.levy1	R2.levy2	RN1	RN2	Rideal	RM	$\Delta$ RM	Rbr	Rbr
50	5	6	5	6	12	12	18	18	12	18	18
63	7	8	7	8	14	14	20	20	12	20	20
80	9	10	9	10	16	16	37	22	12	37	37
100	11	12	11	12	18	18	41	24	12	35	43
125	13	14	13	14	20	20	45	26	12	37	45
160	15	16	15	16	22	22	49	28	12	39	47
200	17	18	17	18	24	24	53	30	12	41	49
250	19	20	19	20	26	26	57	32	12	43	51
315	21	22	21	22	28	28	61	34	12	45	53
400	23	24	23	24	30	30	65	36	12	47	55
500	25	26	25	26	32	32	69	38	12	49	57
630	27	28	27	28	34	34	73	40	12	51	59
800	29	30	29	30	36	36	77	42	12	53	61
1000	31	32	31	32	38	38	81	44	12	55	63
1250	0	34	0	34	34	34	75	46	12	57	65
1600	0	0	0	0	28	28	63	48	12	59	67
2000	0	0	0	0	22	22	49	50	12	61	69
2500	10	0	10	0	13	13	31	52	12	63	71
3150	23	22	23	22	28	28	63	54	12	65	73
4000	28	28	28	28	34	34	75	56	12	67	75
5000	32	33	32	33	38	38	83	58	12	69	77



## Liite 3.

$$R_{ideal} = \begin{cases} 20\log_{10}(m'_1 + m'_2)f - 48 & \text{kun } f < f_{mam} \\ R_1 + R_2 + 20\log_{10}fd - 29 & \text{kun } f_{mam} < f < f_i \\ R_1 + R_2 + 6 & \text{kun } f > f_i \end{cases}$$

$$f_i = \frac{c_0}{6d}$$

$$f_{mam} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1,8\rho_0 c_0^2 (m'_1 + m'_2)}{d m'_1 + m'_2}} = 80 \sqrt{\frac{(m'_1 + m'_2)}{dm'_1 m'_2}}$$

$$R = \begin{cases} 20\log_{10}m'f - 48 & \text{kun } f < \frac{1}{2}f_c \\ 20\log_{10}m'f + 10\log_{10}\left[\eta\left(\frac{f}{f_c} - 1\right)\right] - 44 & \text{kun } f \geq f_c \end{cases}$$

$$f_c = \frac{c_0^2}{2\pi} \sqrt{\frac{12(1 - \mu^2)m'}{Eh^3}}$$

$E =$  Materiaalin kimmomoduli [Pa]

( Kipsilevyn kimmomoduli 3,0 Gpa )

$h =$  Levyn paksuus [m]

$\mu =$  Poissonin suhde ( rakennuslevyillä 0,25 )

$\eta =$  Häviökerroin

( Reunoiltaan ruuvatuilla rakennuslevyillä häviökerroin on 0,02 )

$$R_M = 20\log_{10}[(m'_1 + m'_2)f] - 48$$

$$f_{br} = f_{mam} \left( \frac{\pi b f_c}{2c_0} \left( \frac{m'_1}{m'_1 + m'_2} \right)^2 \right)^{\frac{1}{4}}$$

$$\Delta R_M = 10\log_{10}(b f_c) + 20\log_{10} \frac{m'_1}{m'_1 + m'_2} - 18$$

$b =$  rankakytkentöjen etäisyys [m]

$$R_{br} = R_M + \Delta R_M$$

$$R_N = 20\log_{10}(10^{R_1/20} + 10^{R_2/20})$$

$R_N =$  Ei liimaamalla yhdistettyjen levyjen yhteinen ääneneristävyys