



# Rakennuksen ulkovaipan ääneneristävyyden laskentatyökalu

Johan Luukka

Opinnäytetyö, AMK

Toukokuu 2024

Tekniikan ala

Insinööri (AMK), rakennus ja yhdyskuntatekniikka

**Luukka, Johan**

## **Rakennuksen ulkovaipan ääneneristävyyden laskentatyökalu**

Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Toukokuu 2024, 35 sivua.

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikan tutkinto-ohjelma. Opinnäytetyö AMK.

Julkaisun kieli: suomi

Julkaisulupa avoimessa verkossa: kyllä

### **Tiivistelmä**

Yhä useampi uusista pientaloista rakennetaan erilaisille melualueille, yksi rakennuksen suunnittelun vaiheista on ääneneristysseleitys, johon sisältyy rakennuksen ulkovaipan ääneneristävyyden toteaminen. Opinnäytetyön tavoitteena oli tutustua ääneen fyysikaalisena ilmiönä, rakennuksen ääneneristävyyteen, vaatimuksiin, ohjearvoihin ja luoda lähdekirjallisuuteen sekä toimeksiantajan neuvoihin perustuen laskentatyökalu. Opinnäytetyön toimeksiantajana toimi Luukka Oy. Toimeksiantaja on insinööritoimisto, joka tarjoaa palveluita rakentamisen eri suunnittelualoille.

Työ koostui lähdekirjallisuuteen perustuvasta teoriaosasta ja siihen sekä toimeksiantajan haastatteluun perustuvasta toiminnallisesta osasta. Teoriaosan tavoitteena oli tutkia äänen fyysikaalisia ominaisuuksia, melua, äänen vaikutusta rakennuksiin, lakeja, määräyksiä sekä ohjeita. Teoriaosion tietoperustana toimi alan kirjallisuus, sähköiset lähteet, laet sekä muut edellä mainitut. Toiminnallisen osion tavoitteena oli suunnitella ja kehittää laskentatyökalu, osion tietoperustana toimi teoriaosio sekä toimeksiantajan haastattelu. Toimintaosio perustuu pääsotin RIL 243-1-2007 äänitasoeromenetelmään.

Työn tuloksena saatiin kattava teoriaosuus äänestä fyysikaalisena ilmiönä ja sen vaikutus rakentamiseen. Tämän lisäksi saatiin laskentatyökalu, joka luotiin Microsoft Excel taulukkolaskentatyökaluun. Laskentatyökalu tehtiin laskemaan rakennuksen ulkovaipan ääneneristävyys ja vertaamaan sitä annettuun ääneneristävyyden vaatimukseen.

### **Avainsanat (asiasanat)**

Ääneneristys, ympäristömelu, äänitasoeromenetelmä, Microsoft Excel, laskentatyökalu

### **Muut tiedot (salassa pidettävät liitteet)**

-

**Luukka, Johan**

### **Building exterior envelope soundproofing calculator**

Jyväskylä: JAMK University of Applied Sciences, May 2024, 35 pages.

Degree Programme in Construction and Civil Engineering. Bachelor's thesis.

Permission for open access publication: Yes

Language of publication: Finnish

### **Abstract**

An increasing number of small new houses are being built in different noise areas, one of the reasons for the design of the building's is a soundproofing study, which includes the determination of the soundproofing exterior envelope of the buildings. The aim of the thesis was to get to know the sound as a physical phenomenon, the sound insulation of the building, requirements, guideline values and to create a calculation tool based on the source literature and the client's advice. The thesis was commissioned by Luukka Oy. The contractor is an engineering firm that provides services to various engineering fields of construction.

The work consisted of a theoretical part based on source literature and a functional part based on it, as well as an interview with the client. The aim of the theory section was to study the physical properties of sound, noise, the effect of sound in buildings, laws, regulations, and instructions. The knowledge base of the theory section was the literature of the field, electronic sources, laws and fore mentioned. The objective of the functional section was to design and develop a calculation tool, the knowledge base of the section was based on the theory section and the challenge of the client. The action section is mainly based on the RIL 243-1-2007 sound level difference method.

The result of the work was a comprehensive theory of sound as a physical phenomenon and its impact on construction. In addition to this, a calculation tool was obtained, which was created in the Microsoft Excel spreadsheet tool. The calculation tool was made to calculate the sound insulation of the exterior envelope of the building and compare it with the sound insulation requirement given.

### **Keywords/tags (subjects)**

Sound insulation, ambient noise, sound level difference method, Microsoft Excel, calculator

### **Miscellaneous (Confidential information)**

-

## Sisältö

<b>1</b>	<b>Johdanto .....</b>	<b>3</b>
1.1	Työn tavoitteet ja rajaus .....	3
1.2	Tutkimuskysymykset ja tutkimusmenetelmät .....	4
<b>2</b>	<b>Ääni ja melu .....</b>	<b>4</b>
2.1	Ääni.....	4
2.1.1	Ihmisen kyky kuulla ääntä.....	6
2.2	Melu .....	7
<b>3</b>	<b>Ääni rakentamisessa ja ääneneristys.....</b>	<b>8</b>
3.1	Ympäristömelun lähteet.....	9
3.2	Ympäristömelua koskevat ohjeet, määräykset ja vaatimukset .....	10
3.3	Äänieristyksen tavoitteet ja toteuttaminen.....	11
3.3.1	Massan vaikutus ääneneristävyyteen .....	11
3.3.2	Absorptio .....	12
<b>4</b>	<b>Laki, asetukset ja määräykset .....</b>	<b>13</b>
4.1	Maankäyttö- ja rakennuslaki.....	14
4.2	Asetus.....	14
4.3	Valtioneuvoston päätös melutason ohjearvoista .....	16
4.4	Määräykset.....	16
<b>5</b>	<b>Ääneneristys selvitys Suunnitteluprosessi .....</b>	<b>18</b>
5.1	Laskennassa tarvittavat lähtötiedot.....	18
5.2	Laskenta RIL 243-1-2007 mukaan .....	19
5.2.1	Laskennasta .....	19
5.2.2	Äänitasoeromenetelmä .....	19
5.2.3	Laskentakaavat .....	19
5.2.4	Ulko-oleskelualueet .....	21
<b>6</b>	<b>Rakennuksen ulkovaipan ääneneristävyyslaskentatyökalu .....</b>	<b>21</b>
6.1	Tausta.....	21
6.2	Työkalun luominen.....	21
6.3	Laskentatyökalun koekäyttö .....	24
<b>7</b>	<b>Yhteenveto ja pohdinta .....</b>	<b>26</b>
	<b>Lähteet .....</b>	<b>28</b>
	<b>Liitteet .....</b>	<b>32</b>
	Liite 1. Laskentatyökalun koekäytön tuottama dokumentti.....	32

## Kuviot

Kuvio 1 A-painotuksen huomioiminen mittaustuloksessa (Kylliäinen, Tervo & Yli-Pietilä 2022, 41). .....	6
kuvio 2 Äänen kokeminen ja häiritsevyys (Kylliäinen, Tervo & Yli-Pietilä 2022, 19). .....	7
Kuvio 3 Esimerkki äänen sivutiesiirtymästä (Puuinfo 2020). .....	9
Kuvio 4 Tampereen lentokentän aiheuttama melualue vuonna 2012, Yksikkö $L_{den}$ (Finavia 2017, 15). .....	10
Kuvio 5 Esimerkkejä kaksinkertaisista rakenteista (Puuinfo 2020). .....	12
Kuvio 6 Äänitehotason alenema suhteessa absorptiotasoon (Kylliäinen, Tervo & Yli-Pietilä 2022, 48). .....	13
Kuvio 7 Esimerkkejä kaavamerkintöjen selityksistä (Asemakaavamerkinnot ja määräykset, 195). .....	18
Kuvio 8 Laskentatyökalun aloitusnäkö ..... 22	22
Kuvio 9 yhden tilan laskentataulukko ..... 23	23
Kuvio 10 Laskentatyökalun luoma dokumentti ääneneristys selvityksen liitteeksi ..... 24	24
Kuvio 11 Rakennuksen pohjakuva ..... 25	25
Kuvio 12 A-A rakenneleikkaus..... 26	26

## Taulukot

Taulukko 1 Äänenpainetasoja erilaisista äänilähteistä (Kylliäinen 2006, 29). .....	5
Taulukko 2 Esimerkkejä säädöksiin perustuvista melutasojen raja-arvoista melun häiritsevyyteen ja terveysvaikutuksiin (Kylliäinen, Tervo & Yli-Pietilä 2022, 19). .....	8
Taulukko 3 Ympäristöministeriön asetuksen mukaiset hissien ja taloteknisten laitteiden aiheuttamat äänitasojen ohjearvot eri alueilla (Ympäristöministeriö A 796/2017, 5§). .....	15
Taulukko 4 Ympäristöministeriön asetuksen mukaiset ohjearvot äänitasoeroluville ja suurimmille sallituille askeläänitasoluville (ks. A 796/2017, 5§). .....	15
Taulukko 5 Vantaan kaupungin rakennusjärjestyksen mukaiset ohjearvot lentomelu- ja liikennemeluvyöhykkeelle rakentaessa (Vantaan kaupungin rakennusjärjestys 2010, 22). .....	17

# 1 Johdanto

Moderneissa suurkaupungeissa ympäristöä häiritsevät monenlaiset melunlähteet, näistä esimerkiksi lento-, raide- ja liikennemelu. Melulla on verrattain vakaviakin terveysvaikutuksia ihmiseen, melu aiheuttaa psyykkisiä, sosiaalisia ja fyysisiä oireita. (Melun vaikutukset 2017, 2; Liikennemelu ja koti 2019, 1–5.)

Ääni on fysikaalinen ilmiö, jolla on erilaisia etenemistapoja. Ääni pääsee rakennuksen sisään ja sen sisällä huoneesta toiseen ilmaitse, aukoista ja runkoja pitkin. Ääntä pyritään eristämään oikeanlaisilla rakenneratkaisuilla, jotka mitoitetaan vaatimusten mukaisiksi. (Luodetlahti 1999, 153.)

Rakennusten ääneneristävyyteen liittyviä vaatimuksia esitetään Ympäristöministeriön asetuksessa rakennuksen ääniympäristöstä (796/2017). Asetuksessa asetetaan vaatimuksia niin sisä- kuin ulko-tiloille ja rakenteiden ääneneristävyydelle.

Toimeksiantaja on Luukka Oy, joka on lahtelainen insinööritoimisto. Luukka Oy tarjoaa taloteknistä suunnittelua, konsultointia ja rakennusteknisiä asiantuntijapalveluita. Luukka Oy työllistää tällä hetkellä viisi henkilöä ja toimii pääosin Etelä-Suomen alueella. Yrityksen asiakaskunta koostuu sekä yksityis- että yritysasiakkaista.

## 1.1 Työn tavoitteet ja rajaus

Tämän opinnäytetyön taustalla oli tavoite luoda toimeksiantajalle rakennuksen ulkovaipan äänieristävyyden laskentatyökalu, työkalun tarkoituksena on nopeuttaa äänieristys selvityksen osana suoritettavaa rakennuksen ulkovaipan ääneneristävyyden laskentaa ja vertailua annettuun ääneneristävyydsvaatimukseen. Tavoitteen saavuttamiseksi oli tarve tutustua ääneneristämisen mitoitamiseen ja sitä koskevaan lainsäädäntöön lähdekirjallisuuden sekä edellä mainittujen sähköisten lähteiden avulla.

Koska kyseessä on ulkovaipan äänieristävyyden laskentaan liittyvä tavoite, käsittelee työ enimmäkseen rakennuksen ulkopuolelta tulevia ääniä ja ääniympäristöjä. Laskentatyökalun käyttö rajoittuu pientalo, rivitalo ja yksittäisten huoneistojen ulkovaippojen ääneneristävyyden laskemiseen.

## 1.2 Tutkimuskysymykset ja tutkimusmenetelmät

Opinnäytetyön tarkoituksena on vastata kysymyksiin, mitä ääni on fysikaalisesti, millaisia vaikutteita äänellä on rakennuksen suunnitteluun ja rakenteisiin sekä miten laskentatyökalu vaikuttaa toimeksiantajan työhön rakennuksen ulkovaipan ääneneristävyyden laskennassa.

Työssä käytetään tapaustutkimuksellista kehittämistoimintaa, jossa alussa määritelty tavoite pyritään saavuttamaan. Työssä paneudutaan yhteen tutkimusongelmaan tarkasti ja sen ratkaisemiseksi tuotetaan siihen liittyvää tietoa. Alussa määritetyn tavoitteen saavuttaminen määrittää prosessin onnistumisen. Tässä työssä tavoitteena on kehittää laskentatyötä luomalla laskentatyökalu tietoperustaan nojaten. Tietoperustan lähteet arvioitiin eettisyyden, luotettavuuden ja ajantasaisuuden osalta. (Toikko & Rantanen, 14; Humak 2024.)

Opinnäytetyötä varten tietoa haettiin Jyväskylän kaupungin-, ammattikorkeakoulun ja yliopiston kirjastoiden kirjoista, kirjat olivat suunnitteluohjeita ja ääntä käsitteleviä tietokirjoja. Lisäksi tietoperustaa haettiin erilaisilta verkkosivuilta, yliopistojen julkaisuista, laeista, määräyksistä ja ohjeista sekä toimeksiantajan haastattelusta. Tässä työssä kansainvälistä kirjallisuutta ei hyödynnetty laajasti, koska suomalaiset ohjearvot ja asetukset yms. säätelevät Suomeen rakennettavien rakennusten suunnittelua.

## 2 Ääni ja melu

### 2.1 Ääni

Ääni on kimmoisassa väliaineessa vallitsevaa paineenvaihtelua, sen taajuus on ihmisen kuuloalueella. Pinnan värähtelystä aiheutuva paineenvaihtelu synnyttää äänen. Ääni etenee aaltolina väliaineessa ja sitä kuvataan äänenpaineen ja äänitehon avulla. (Ympäristöministeriö 2018, 7.)

Kappaleen liikettä edestakaisin tasapainopisteasemansa ympärillä kutsutaan värähdysliikkeeksi. Liiketila siirtyy kappaleesta ympäröivään kimmoisaan väliaineeseen, ja etenee siinä aaltoliikkeenä. Aaltoliike sisältää energiaa, joka siirtyy massaansa liittyvänä liike-energiana, että kimmoisuuteen liit-

tyvänä potentiaalienergiana. Fysikaalisesti ääni on molekyylien liikettä. Ääniaallot ovat ns. kimmoisia eli elastisia aaltoja, joissa värähdysliike voi edetä joko pitkittäis- eli tihennysaaltoina tai poikittais- eli taivutusaaltoina. (Siikanen 2014, 136.)

Äänenpaine ilmoitetaan äänenpainetasolukuna  $L_p$ , joka ilmaisee hetkellisen äänen kokonaispaineen tarkastelupisteessä. Ääniteho ilmoitetaan äänitehotasolukuna  $L_w$ , ilmaisee äänilähteen säteilemä hetkellisen äänienergian mitan aikayksikössä. Intensiteetti ilmoitetaan intensiteettitasolukuna  $L_i$ , joka ilmaisee äänilähteen säteilemän äänen intensiteetin ääni tehona pinta-alayksikköä kohti. (RIL 2007, 42; Ympäristöministeriö 2018, 7.)

Useimmiten äänen voimakkuus ilmoitetaan suhteellisella asteikolla desibeileissä, jonka merkintä on dB. Desibeliyksikköinä ilmoitetaan tasot äänenpainetaso ( $L_p$ ), äänentehotaso ( $L_w$ ) sekä intensiteettitaso ( $L_i$ ). Taulukossa yksi esitetään erilaisten äänilähteiden tuottamia äänenpainetasoja. (Kylliäinen 2006, 29; Siikanen 2014, 141–142.)

Taulukko 1 Äänenpainetasoja erilaisista äänilähteistä (Kylliäinen 2006, 29).

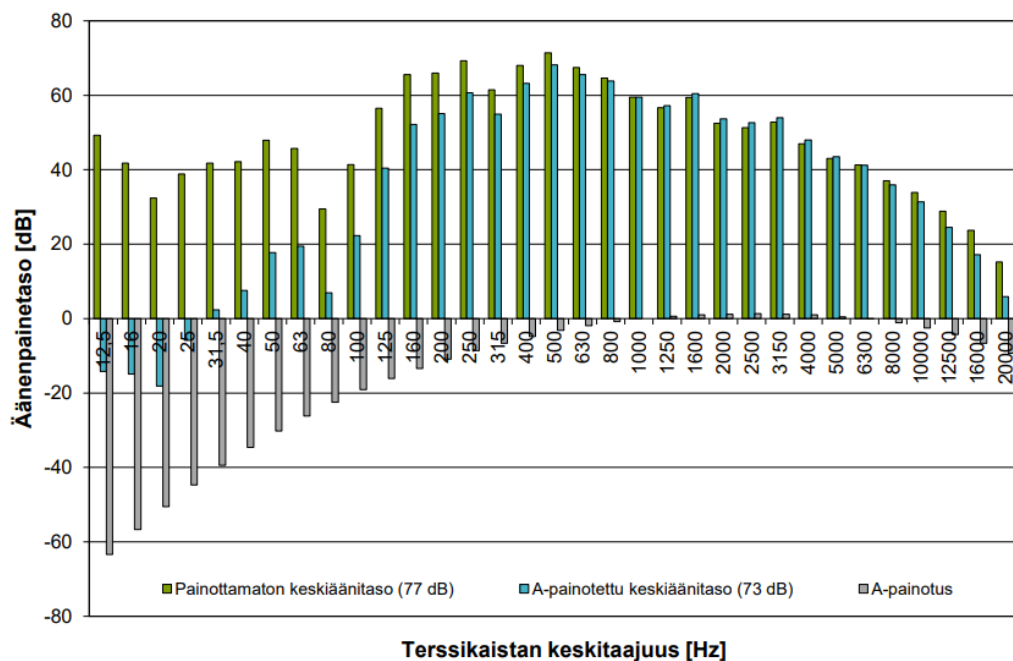
Äänenpainetaso $L_p$	Äänilähde
25 dB	Hiljainen asuinhuoneisto
30 dB	Kuiskaus
45 dB	Toimistotyöympäristö
55 dB	Keskustelu
65 dB	Kovaaääninen puhe
80 dB	Vilkas katuliikenne
100 dB	Piikkaus
110 dB	Oopperalaulaja
120 dB	Kipukynnys
140 dB	Suihkukone

Äänenkorkeuden aistimus johtuu äänen taajuudesta  $f$ , joka ilmaisee hiukkasten täysien edestakaisen heilahdusten lukumäärän sekunnissa. Taajuuden yksiköitä ovat 1/sek ja hertzi (Hz). Ilmanpaineen vaihtelu saa korvan rumpukalvon värähtelemään, tällöin syntyy kuuloaistimus. Mikäli taajuus on tiheää, ääni koetaan korkeaksi. Mikäli taas taajuus on pieni, koetaan ääni matalaksi. (Siikanen 2014, 137–138.)

### 2.1.1 Ihmisen kyky kuulla ääntä

Äänen voimakkuus ja taajuus määrittävät äänen kuuluvuuden. Äänen voimakkuuden alarajana pidetään ns. kuulokynnystä, jonka alapuolella olevat äänenvoimakkuudet ovat liian heikkoja muodostaakseen kuuloaistimuksen. Ylärajana pidetään ns. kipukynnystä, jossa kuuloaistimus muuttuu kipuaistimukseksi. Kipukynnyksen yläpuolella on myös kuulovaurion riski. Kipukynnys sijaitsee noin 120–130 desibelin kohdilla. Ihminen voi aistia äänen taajuuksien 20–20000 Hz välillä, alle 20 Hz taajuudet aistitaan tärinänä (painotusta Kylliäinen 2006, 13; Siikanen 2014, 142; Hopkins 2007, 1.)

A-painotuksen lisäksi on olemassa myös muita painotuksia, mutta vakiintunut käytäntö on käyttää A-painotusta riippumatta äänen voimakkuudesta. A-painotuksella otetaan huomioon kuuloaistin herkkyys. A-painotus lisää keskitajuuksittain äänenpainetasoihin ( $L_p$ ). Kuulon herkkyyteen vaikuttaa myös äänen voimakkuus. A-painotus ottaa huomioon kuuloaistin herkkyyden vähentämällä pienten ja suurten taajuuksien vaikutusta. Kuviossa yksi painottamattomiin keskiäänitasoja verrataan A-painotettuihin keskiäänitasoihin. (Kylliäinen, Tervo & Yli-Pietilä 2022, 41.)

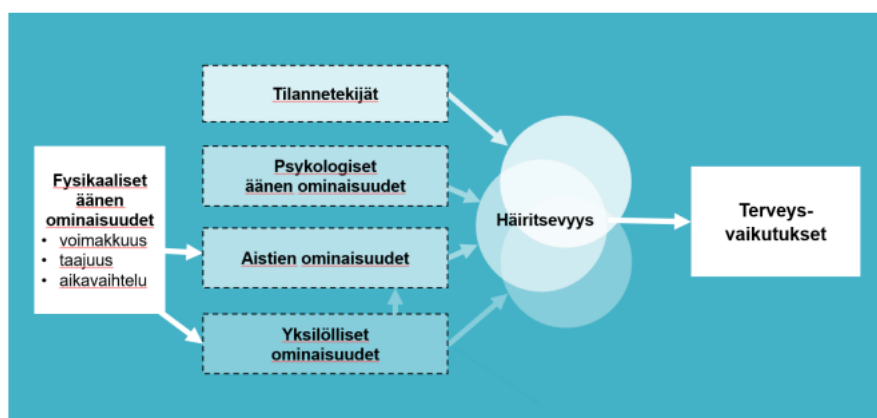


Kuvio 1 A-painotuksen huomioiminen mittaustuloksessa (Kylliäinen, Tervo & Yli-Pietilä 2022, 41).

## 2.2 Melu

Meluksi kutsutaan haitallista, epätoivottua ja tarpeetonta ääntä. Melulla on sekä psyykkisiä, sosiaalisia että fyysisiä vaikutuksia ihmiseen. Melu aiheuttaa myös asuinympäristön arvoon ja arvostukseen. (Ympäristöministeriö 2018, 2 ja 9.)

Melu käsitteenä yhdistää fyysikaalisen ilmiön sekä sen aiheuttaman ihmisen subjektiivisen kokemuksen. Äänestä häiritsevän voi tehdä moni asia, esimerkiksi ympäristön muista äänistä selvästi poikkeava ääni koetaan häiritseväksi tai ääni, jonka sisältämä informaatio on ei toivottua. Sama ääni voi tilanteen mukaan olla joko tavoiteltava tai häiritsevä, jolloin se on melua. Kuviossa 2 käsitellään erilaisten tekijöiden vaikutusta äänen kokemiseen ja sitä kautta sen terveysvaikutuksiin. (Kylliäinen 2006, 13; Kylliäinen, Tervo & Yli-Pietilä 2022, 19.)



kuvio 2 Äänen kokeminen ja häiritsevyyys (Kylliäinen, Tervo & Yli-Pietilä 2022, 19).

Melu on terveydelle haitallista, se aiheuttaa epäviihtyvyyttä ja heikentää kokonaishyvinvointia. Melu aiheuttaa lihasjännitystä, ärtyneisyyttä, väsymystä ja päänsärkyä. Jatkuva melu altistaa stressille ja unihäiriöille. Se nostaa verenpainetta ja sykettä sekä voi johtaa sydän- ja verisuonisairauksiin. Melu vaikeuttaa puheviestintää ja kuulemistä, se heikentää myös keskittymiskykyä ja tarkkaavaisuutta. Vakavin melun aiheuttama terveysvaikutus on kuulonaleneminen. Taulukossa kaksi melun aiheuttaman terveysriskin välttämiseksi annettuja keskiäänitason raja-arvoja erilaisissa tilanteissa. (Melun vaikutukset 2017, 2; Kylliäinen 2006, 13; Kylliäinen, Tervo & Yli-Pietilä 2022, 19.)

Taulukko 2 Esimerkkejä säädöksiin perustuvista melutasojen raja-arvoista melun häiritsevyyteen ja terveysvaikutuksiin (Kylliäinen, Tervo & Yli-Pietilä 2022, 19).

Tilanne	Keskiäänitason $L_{Aeq}$ [dB] raja-arvo
Nukahtaminen ja musiikkimelu	25 dB
Talotekniikan melu asuinhuoneissa	28 dB
Liikennemelu asuinhuoneessa yöllä	30 dB
Liikennemelu asuinhuoneessa päivällä	35 dB
Tuulivoimamelu ulkona	45 dB
Liikennemelu pihalla päivällä	55 dB
Altistumisen tarkastelu melutyössä	70 dB
Altistumisen alaraja melutyössä	80 dB

### 3 Ääni rakentamisessa ja ääneneristys

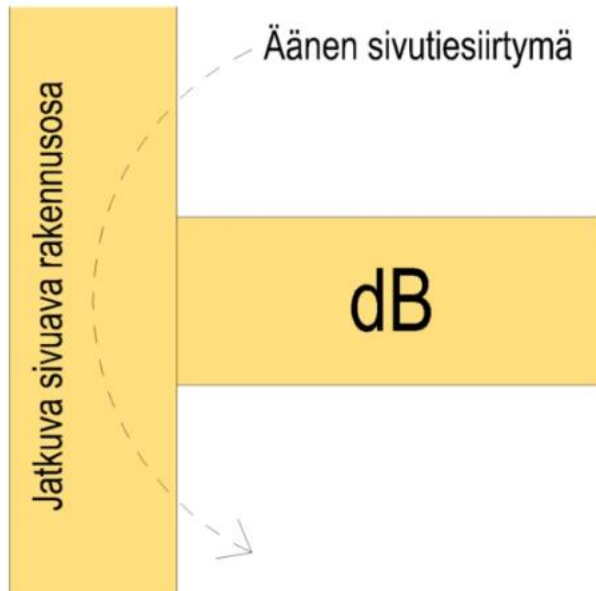
Rakentamisessa ääni tulee huomioida monella tavalla, ääni kulkee rakennuksen sisällä huoneistosta toiseen sekä rakennuksen ulkopuolelta rakennuksen sisään. Äänellä on erilaisia tapoja kulkea rakenteissa. Etenkin matalataajuisien ilma- ja iskuäänten eristämiseen on kiinnitettävä huomiota, koska kodinkoneet, LVIS-laitteet, askeleet ja tieliikennemelu aiheuttavat niitä. (Halme, A. & Halme-Salo, E 2003, 5; Hopkins 2007, 1.)

Ilmassa kulkevaa ääntä kutsutaan ilmaääneksi, se on ilmassa etenevää aaltoliikettä (Siikanen 2014, 136). Ääni tarvitsee edetäkseen väliaineen, koska ääni ei voi edetä tyhjiössä. Äänen nopeuteen ilmassa ei vaikuta taajuus vaan lämpötila, huoneenlämpöisessä ilmassa äänen nopeus on noin 340–345 m/s. Ilmaääntä tuottavat useimmiten esimerkiksi puhe, musiikki tai erilaiset koneet. (RIL 2007, 35–36.)

Kiinteiden kappaleiden värähtelystä syntyy myös ääntä, tätä ääntä kutsutaan rakentamisessa runkoääneksi. Värähtelyt muuttuvat värähtelevien pintojen kautta ilmaääniksi, joita ihminen pystyy kuulemaan. Runkoääntä synnyttää tavallisimmin asuinhuoneistoissa kävely, esineiden putoaminen, leikkiminen ja huonekalujen siirtäminen. Askelääni eli ääni, joka syntyy ihmisen kävelyn seurauksena huoneistossa, on kaikkein tavallisimpia runkoääniä rakennuksissa (Borenus 1981, 86; Halme 1977, 216; Kylliäinen, Tervo & Yli-Pietilä 2022, 38.)

Halmeen ja Halme-Salon (2003, 14–15) mukaan äänen siirtyminen rakennuksessa on monitapainen. Äänenpainevaihtelut saavat kaikki huonetilan rajapinnat heilahtelemaan ja liiketila jatkuu

myös varsinaisia eristäviä rakennosia sivuavia rakenteita pitkin. Kuviossa kolme kuvataan äänen siirtymistä ns. sivutiesiirtymänä eristävän rakenteen ohi. (Puuinfo 2020.)



Kuvio 3 Esimerkki äänen sivutiesiirtymästä (Puuinfo 2020).

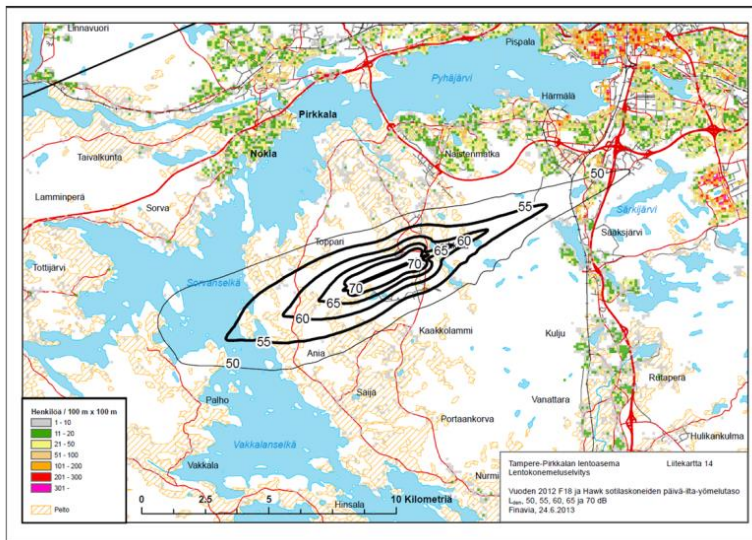
Kun rakenteessa on aukko, kulkee äänienergia sen läpi. Riippuen aukon koosta äänen aallonpituuteen nähden vaihtelee sen käyttäytyminen aukon jälkeen. Jos aukko on suuri, siirtyy aaltoliike osittain suoraan sen läpi. Mikäli aukko on pieni, liikkuu ääni rakenteen jälkeen kuin aukko olisi uusi äänilähde. (Halme 1977, 45–46.)

### 3.1 Ympäristömelun lähteet

Rakennus on äänieristettävä sille vaadituilla tasoilla erilaisia meluja vastaan. Rakennuksen äänieristävyydelle on eritasoisia vaatimuksia riippuen rakennuksen sijainnista ja käyttötarkoituksesta.

Ajoneuvojen tai raideliikenteen aiheuttamaa melua kutsutaan Tie- ja raideliikennemeluksi. Tie- ja raideliikenteen osuus melulähteenä on merkittävä, 85 % ympäristömelulle altistuvilla altistuu kyseiselle melulle. Melun suuruuteen vaikuttavat muun muassa liikennemäärä, nopeus, raskaiden ajoneuvojen osuus sekä junien tyypit. (Liikonen 2013, 28–29.)

Lentoliikenteen aiheuttamaa melua kutsutaan lentomeluksi. Rakennuksen ylittävät lennot koetaan usein häiritsevimpinä (Ympäristöopas 108 2003, 10). Lentomelulle altistuvat 3 % ympäristömelulle altistuvista. Lentomelun melupäästöihin vaikuttavia asioita ovat esimerkiksi konetyypit, lentojen lukumäärä ja lennon vaihe. Kuviossa neljä on Tampereen lentokentän aiheuttaman melualue vuonna 2012, mukana sekä siviili- että sotilasliikenne. (Finavia 2017, 15; Liikonen 2013, 30.)



Kuvio 4 Tampereen lentokentän aiheuttama melualue vuonna 2012, Yksikkö  $L_{den}$  (Finavia 2017, 15).

Muita melulähteitä voivat olla esimerkiksi vesiliikenne ja satamat, teollisuus, louhimot, kauppakeskukset, koneet ja laitteet, moottoriurheiluradat sekä erilaiset ampuradat. Näille melulähteille altistuvia on noin 1 % ympäristömelulle altistuvista. (Liikonen 2013, 31.)

### 3.2 Ympäristömelua koskevat ohjeet, määräykset ja vaatimukset

Melualueeksi nimitetään aluetta, jossa melu ylittää annetut ohjearvot. Melualueiden meluntorjunta huomioidaan esimerkiksi kaavoituksessa, meluselvityksissä ja rakennusjärjestyksissä. Lisäksi tietoa melualueista saadaan karttapalveluiden melukartoista ja väyläviraston sivuilta. Asemakavaoista, laista ja asetuksista lisää tämän työn luvussa 4. (perustietoa melusta; Meluselvitys; Melu ja tärinä 2023.)

Esimerkiksi julkisivulle annetaan ääneneristävyysvaatimus yleis- tai asemakaavassa tie- tai raideliikennemelua vastaan. Vaatimus eitetään joko asemakaavamerkintänä tai kaavamääräyksenä. (Ympäristöopas 108 2003, 9.)

Lentomelualueilla yleis- ja asemakaavoissa rakennuksen ulkovaipan ääneneristävyttä koskeva kaavamääräys merkitään yleensä Ympäristöoppaan 108 mukaan muodossa: ”Kaava-alueelle sijoitettavan asuinrakennuksen kattorakenteiden, ulkoseinien sekä ikkunoiden ja muiden rakenteiden tulee olla sellaisia, että ulko- ja sisämelutasojen erotus on vähintään 00 dB”. (Ympäristöopas 108 2003, 10.)

### **3.3 Äänieristyksen tavoitteet ja toteuttaminen**

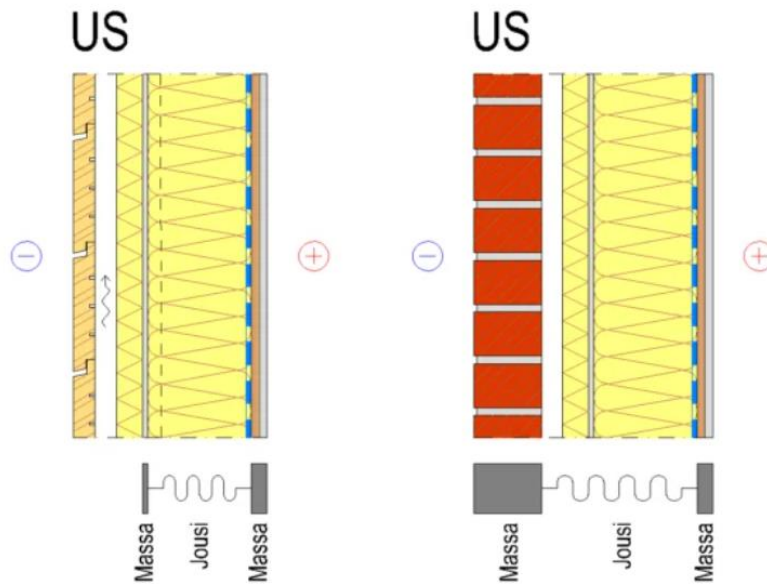
Ääniolosuhteiden hallinnalla pyritään edistämään tilojen toimivuutta, siinä tarkoituksessa, johon ne ovat suunniteltu. Rakennuksille ja rakenteille on niiden käyttötarkoituksen perusteella laissa, asetuksissa ja määräyksissä annettu erilaisia ääneneristävyysvaatimuksia. (RIL 2007, 9.)

#### **3.3.1 Massan vaikutus ääneneristävyyteen**

Yksinkertaisissa rakenteissa tärkein ääneneristävyyteen vaikuttava fyysikaalinen tekijä on massa. Massalain mukaan voidaan katsoa, että rakenteen ilmaäänieristävyys paranee 6 dB, kun sen massa kaksinkertaistuu. (Ympäristöopas 99 2003, 19). Mutta massan lisääminen on taloudellista silloin kun rakenne on ennestään hyvin kevyt, valmiiksi raskaisiin rakenteisiin ei saada suurta hyötyä pienellä massan lisäyksellä (Luodetlahti 1999, 169.)

Rakenteen massaa saadaan lisäämällä paksuntamalla rakennetta tai käyttämällä tiheämpää materiaalia. Koska rakennetta ei voida paksuntaa rajattomasti, käytännöllisempää on lisätä ääneneristävyttä kaksinkertaisella rakenteella. (Ympäristöopas 99 2003, 19.)

Kaksinkertainen rakenne toimii eräänlaisena jousi-massa-järjestelmänä, siinä kahden massan välissä on ilmatila, jossa ilma siirtää äänienergiaa seinärungosta toiseen. Kuviossa viisi on kaksi esimerkkiä kaksinkertaisesta rakenteesta. Massa voi olla esimerkiksi tiiliverhous tai kipsikartonkilevy ja seinärunko puuranka tai teräsranka. (Ympäristöopas 99 2003, 20; Puuinfo 2020.)



Kuvio 5 Esimerkkejä kaksinkertaisista rakenteista (Puuinfo 2020).

### 3.3.2 Absorptio

Äänen kohdatessa jonkin materiaalin, siitä osa siirtyy materiaaliin ja vain osa heijastuu takaisin, tätä kutsutaan absorptioksi. Materiaaliin törmännyt ääniteho muuttuu lämmöksi tai ääniaallon liike-energia muuttaa muotoaan, jolloin hiukkasten liike saa rakenteen värähtelemään. Myös ilma absorptioi ääntä, mutta sen merkittävä absorptioiva vaikutus on vain suurissa tiloissa. (Kylliäinen, Tervo & Yli-Pietilä 2022, 47, 133.)

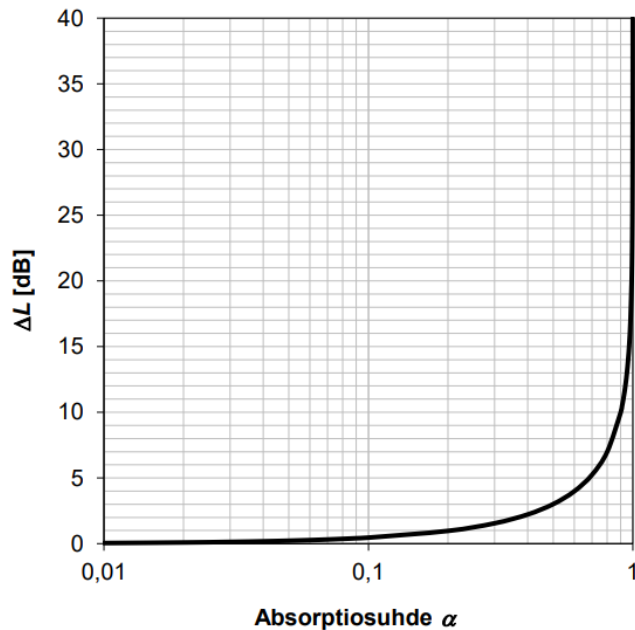
Absorptiosuhde  $\alpha$ , lasketaan kaavalla 1 materiaalin pinnan kohdanneen äänitehon  $W_1$  ja pinnasta heijastumatta jääneen äänitehon  $W_2$  suhteena. Absorptiosuhde kuvaa materiaalin kykyä absorboida ääntä, eli alentaa äänitehotasoa. Kuviossa 6 kuvataan, kuinka absorptiosuhde vaikuttaa äänitehotasoon. (Kylliäinen, Tervo & Yli-Pietilä 2022, 47–48.)

$$\alpha = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \quad (1)$$

missä  $\alpha$  = absorptiosuhde

$W_1$  = materiaalin pinnan kohtaava ääniteho

$W_2$  = pinnasta heijastumaton ääniteho



Kuvio 6 Äänitehotason alenema suhteessa absorptiotasoon (Kylliäinen, Tervo & Yli-Pietilä 2022, 48).

Rakenteissa olevat raot kuten saumat, läpiviennit ja reiät heikentävät rakenteen ääneneristävyyttä. Kaikki edellä mainitut tulee täyttää tarkoituksen mukaisilla massoilla, jotta vaadittu ääneneristävyys saavutetaan. (Ympäristöopas 99 2003, 26.)

#### 4 Laki, asetukset ja määräykset

Rakennusten äänieristävyyden vaatimukseen otetaan kantaa erilaisissa laeissa, asetuksissa, päätöksissä ja määräyksissä. Edellä mainituissa annetaan perustelut akustiselle suunnittelulle sekä ohjearvoja äänitasoille eri alueilla. Ohjearvot vaihtelevat riippuen vuorokauden ajoista, jotka jaetaan päiväaikaan (7–22) ja yöaikaan (22–7) (Liikennemelu ja koti 2019, 3.)

## 4.1 Maankäyttö- ja rakennuslaki

Maankäyttö- ja rakennuslaissa rakennuksen ääneneristävydestä todetaan, että rakennus ja sen oleskelu- ja piha-alueet tulee suunnitella siten, että ne täyttävät niille suunnitellun käyttötarkoituksen kriteerit. Rakennus tulee suunnitella ja rakentaa siten, että ääniolosuhteet edellä mainituilla alueilla eivät vaaranna terveyttä, lepoa tai työntekoa. Laissa mainitaan myös, että taloteknisten laitteiden äänitason ja asennusten on oltava sillä tasolla, että edellä mainitut ääniolosuhteet täyttyvät. Rakennuksen ääniolosuhteet on määritettävä äänitason ja kaiuntaisuuden avulla. Ympäristöministeriön asetuksella voidaan antaa uudelle rakennukselle tai korjaus- ja muutostyölle tarvittavia tarkempia säännöksiä. (Maankäyttö- ja rakennuslaki 132/1999, 117f §; Rakentamislaki 751/2023, 36§.)

## 4.2 Asetus

Rakennusten ääneneristävyteen liittyviä vaatimuksia esitetään Ympäristöministeriön asetuksessa rakennuksen ääniympäristöstä (796/2017). Valtioneuvoksen päätöksen (993/1992) ohjearvojen lisäksi asetuksessa esitetään ohjearvoja äänitasoeroluville  $D_{nT,w}$ , suurimmille sallituille askeläänitasoluville  $L'_{nT,w} + C_{l, 50-2500}$  sekä hissien ja muiden taloteknisten laitteiden aiheuttamien äänien äänitasoille eri alueilla. Taulukoissa kolme ja neljä esitetään esimerkkejä Ympäristöministeriön asetuksessa esitettävistä ohjearvoista. (Ympäristöministeriö A 796/2017, 5§.)

Taulukko 3 Ympäristöministeriön asetuksen mukaiset hissien ja taloteknisten laitteiden aiheuttamat äänitasojen ohjearvot eri alueilla (Ympäristöministeriö A 796/2017, 5§).

Huone- ja ulkotila	Jatkuva laajakaistainen ääni		Impulssimainen tai kapeakaistainen ääni	
	Keskiaänitaso $L_{Aeq,T}$ (dB)	Enimmäisäänitaso $L_{AFmax,T}$ (dB)	Keskiaänitaso $L_{Aeq,T}$ (dB)	Enimmäisäänitaso $L_{AFmax,T}$ (dB)
Asuin-, majoitus- tai potilashuone	28	33	25	30
Asunnon keittiö tai rakennuksen harrastustila	33	38	30	35
Porrashuone tai uloskäytävä	38	43	35	40
Ulkotila	45	50	40	45

Taulukko 4 Ympäristöministeriön asetuksen mukaiset ohjearvot äänitasoeroluville ja suurimmille sallituille askeläänitasoluville (ks. A 796/2017, 5§).

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

Mikäli asunto, majoitus- tai potilashuone on rakenteellisesti kytketty tiloihin, joissa syntyy voimakasta, erityisen häiritsevää tai pienitaajuista ääntä, on äänieristyksen suunnitteluun ja toteutukseen kiinnitettävä erityistä huomiota. Ulkopuolisten oleskelutilojen kuten parvekkeiden, viherhuoneiden ja kattoterassien ääneneristys on suunniteltava ja toteutettava siten, että ääniympäristö on tilojen käytön kannalta haitatonta. Lisäksi asuinrakennuksen, majoitus- tai potilashuoneiden ääne-

neristys on suunniteltava ja toteutettava siten, että ääneneristys on vähintään 30 dB ja impulssi-maisen, kapeakaistaisen tai pienitaajuisen melun keskiäänitaso ei ylitä nukkumiseen tai lepoon käytettävissä huoneissa 20 dB. (Ääneneristys asuin- ja majoitusrakennuksissa 2020.)

### 4.3 Valtioneuvoston päätös melutason ohjearvoista

”Päästöistä sovelletaan meluhaittojen ehkäisemiseksi ja ympäristön viihtyisyyden turvaamiseksi maankäytön, liikenteen ja rakentamisen suunnittelussa sekä rakentamisen lupamenettelyissä.” Päättös ei koske ampuma- ja moottoriurheiluratojen aiheuttamaa melua, eikä päätöstä sovelleta teollisuus-, katu- ja liikenne alueilla tai melusuoja alueilla. (Valtioneuvoston päätös melutason ohjearvoista 993/1992, 1§.)

Päätöksessä annetaan asumiseen käytettävillä alueilla, virkistysalueilla taajamissa ja taajamien välittömässä läheisyydessä sekä hoito- että oppilaitoksien alueille ohjearvoiksi A-painotetun ekvivalenttitason  $L_{Aeq}$  päiväohjearvoksi 55 dB ja yöohjearvoksi 50 dB. Uusilla alueilla yöohjearvo on 45 dB, oppilaitoksien alueilla ei sovelleta yöohjearvoja. Yleisesti loma-asumiseen käytettäville alueille, leirintäalueille, taajamien ulkopuolella oleville virkistysalueille ja luonnonsuojelualueille annetaan ohjearvoiksi 45 dB päivällä ja 40 dB yöllä (Valtioneuvoston päätös melutason ohjearvoista 993/1992, 2§.)

Päätöksessä (993/1992, 3§) annetaan asuin-, potilas- ja majoitushuoneissa ohjearvoiksi A-painotetun ekvivalenttitason  $L_{Aeq}$  35 dB (päivä) ja 30 dB (yö). Opetus- ja kokoontumistiloille sekä liike- ja toimistohuoneille annetaan vain päiväohjearvot. Opetus- ja kokoontumistiloille 35 dB ja liike- ja toimistohuoneille 45 dB.

### 4.4 Määräykset

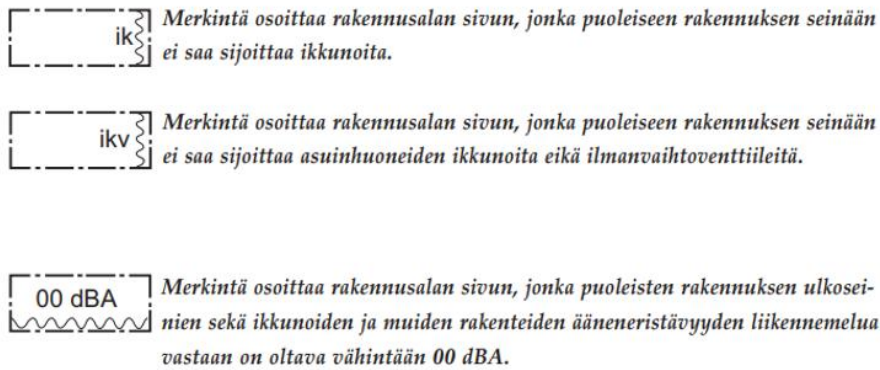
Kaikissa kunnissa on oma rakennusjärjestys, josta säädetään maankäyttö- ja rakennuslaissa. Rakennusjärjestyksen määräykset voivat vaihdella eri kunnissa ja kunnan eri alueilla. Rakennusjärjestyksessä voidaan antaa rakennuksille ääneneristävyteen liittyviä määräyksiä kuten rakennuspaikka, rakennuksen sijaintia, aitoja ja rakennustapaa koskien. Rakennusjärjestyksissä voidaan antaa myös määräyksiä koskien rakennusten ulkovaipan ääneneristävyttä eri melualueilla. Taulukossa

viisi esitetään Vantaan kaupungin rakennusjärjestyksen mukaiset ohjearvot lentomelu- ja liikennemeluvyöhykkeelle rakennettavien rakennusten rakenteiden ilmaäänieristävyysluvuista (ks. AKL132/1999, 14§; Rakentamislaki 751/2023 17§; Vantaan kaupungin rakennusjärjestys 2010, 22.)

Taulukko 5 Vantaan kaupungin rakennusjärjestyksen mukaiset ohjearvot lentomelu- ja liikennemeluvyöhykkeelle rakentaessa (Vantaan kaupungin rakennusjärjestys 2010, 22).

<b>LENTOMELU</b>			
<b>Yleiskaavan mukainen lentomeluvyöhyke</b>	<b>Lentomeluvyöhyke</b>	<b>Äänitasoero</b> Asuin- potilas- ja majoitushuoneissa sekä opetus- ja koontumistiloissa	<b>Äänitasoero</b> Toimistotiloissa yleensä
	$L_{DEN}^*$ (dB)	$\Delta L^{**}$ (dB)	$\Delta L^{**}$ (dB)
m1	> 60	-	35
m2	55 ... 60	35	32
m3	50 ... 55	32	28
Muut alueet	-	28	25
<b>TIE- JA RAIDELIIKENNEMELU</b>			
	$L_{Aeq}^{***}$ (dB)	$\Delta L^{**}$ (dB)	$\Delta L^{**}$ (dB)
<b>Liikennemeluvyöhyke</b>	65 ... 100	erillinen selvitys	
	60 ... 64,9	35	30
	55 ... 59,9	30	25
	50 ... 54,9	-	

Asemakaavamääräyksillä pyritään takamaan rakennuksen ulko- ja sisätilojen tarkoituksen mukainen käyttömahdollisuus. Asemakaavassa ei anneta suoria teknisiä rakenteita vaan ohjearvoja, joita tulee noudattaa. Kaavamääräyksissä tulisi mainita myös melun lähde, jota varten kaavamääräys on annettu. Kuviossa kuusi annetaan esimerkkejä erilaisista kaavamerkintöjen selityksistä. (Asemakaavamerkinnät ja määräykset, 194–196.)



Kuvio 7 Esimerkkejä kaavamerkintöjen selityksistä (Asemakaavamerkinnät ja määräykset, 195).

## 5 Ääneneristys selvitys Suunnitteluprosessi

Tässä työssä ääneneristys selvityksen laskenta osion lähteenä toimi RIL 243-1-2007. Laskennassa käytettiin (RIL 243 2007, 146) äänitasoeromenetelmää, koska se antaa mahdollisuuden yksittäisten rakennusosien äänieristävyyden optimoimiseen.

### 5.1 Laskennassa tarvittavat lähtötiedot

Laskennan lähtötiedoksi tarvitaan tieto rakennuksen ulkovaipan ääneneristykseen vaatimuksista ja rakennuspaikan melutasosta. Laskennassa olevan rakennuksen sijainti (osoite ja sijoitus tontilla) selviää kohteen pääpiirustuksista. Lähtötiedot löytyvät kaavamääräyksistä, rakennusjärjestyksestä, kuntien karttapalvelujen melukartoista, Väyläviraston nettisivuilta kohdasta Suomen Väylät tai muista lähteistä. On otettava huomioon, että osa kaavoista on vanhoja ja liikenteen melun taso on saattanut muuttua kaavan hyväksymisen jälkeen. Joissain tapauksissa melun lähde on jopa poistunut. Esimerkkinä Malmin lentokenttä Helsingissä, jossa lentoliikenne on loppunut ja kaavamerkintä lentomelun osalta vanhentunut. Tarvittaessa on selvitettävä rakennusvalvontaviranomaisen kanssa rakennuksen ulkovaipalta vaadittava ääneneristykseen taso. (Luukka 2024).

Joissain tapauksissa ennen ääneneristys selvityksen laatimista on tarpeen tehdä kohteesta erillinen mallinnukseen perustuva meluselvitys. Erityisesti tämä tulee ajankohtaiseksi, kun haetaan poikkeamislupaa rakentamiselle tai tontilla vallitseva melutaso ei muuten selviä. (Luukka 2024).

Rakennuksen teknisistä ominaisuuksista selvitetään laskennan lähtötiedoiksi ulkoseinien osien rakenne, yläpohjan rakenne, ikkunoiden tyypit (kiinteä/avattava ikkuna) ja ovien tyypit. (Luukka 2024)

## 5.2 Laskenta RIL 243-1-2007 mukaan

### 5.2.1 Laskennasta

Laskenta kohdistuu asuintiloihin ja oleskelutiloihin. Näihin ei lasketa rakennuksen muita tiloja, kuten erillisiä eteistiloja, erillistä keittiötä, kodinhoitotiloja, sauna. ja peseytymistiloja sekä varastoja. Laskettavista tiloista lasketaan kunkin erillisen tilan lattiapinta-ala, erilaisten ulkoseinien pinta-alat, erilaisten ikkunoiden pinta-alat sekä yläpohjan pinta-ala. (Luukka 2024).

Kun laskennassa käytetään teoksessa RIL 243-1-2007 esitettyä äänitasoeromenetelmää, laskennan kuluessa on mahdollisuus ulkoseinän, yläpohjan, ikkunoiden ja ovien ääneneristävyysarvoja muuttamalla optimoida kokonaisuutta ja etsiä myös taloudellisinta ratkaisua ääneneristävyydelle siten, että saavutetaan vaadittu ulkovaipan ääneneristävyys. (Luukka Oy).

### 5.2.2 Äänitasoeromenetelmä

Esimerkiksi alueilla, joissa kaavamääräyksen mukainen äänitasoero on hyvin korkea, on hyvä, että rakenteiden ilmaääneneristävyyslukuja voidaan optimoida. Kuitenkin on huomioitava, ettei heikoimpien rakennusosien eristävyyslukuja voida kompensoida kuin muutamilla desibeleillä. RIL 243-1-2007 äänitasoeromenetelmä antaa mahdollisuuden optimoida, kun taas ympäristöoppaan menetelmä 108 on taulukkomuodossa. (RIL 2007, 146.)

### 5.2.3 Laskentakaavat

Koska kaavamääräyksessä ilmoitetaan yleensä äänitasoero  $\Delta_{L_A,i}$ , eikä ulkona vallitsevaa äänitasoa  $L_u$ , lasketaan kunkin rakennusosan kautta kulkeva äänitasoero kaavalla 2. Seuraavaksi lasketaan kaikkien rakennusosien yhdessä tuottama äänitasoero  $\Delta_{L_A, kok}$  kaavalla 3, jonka tulee olla vähintään yhtä suuri kuin kaavamääräyksessä ilmoitettu äänitasoero  $\Delta_{L_A}$  (RIL 2007, 146).

$$\Delta L_{A,i} = L_u - L_s = (R_w + C_{tr}) - 7 - 10 \log_{10} \frac{S_i}{S_H} \quad (2)$$

missä  $\Delta L_{A,i}$  = rakennusosan äänitasoero

$L_u$  = ulkona vallitseva äänitaso

$L_s$  = rakennusosan kautta välittyvä äänitaso

$R_w - C_{tr}$  = ilmaääneneristysluku tieliikennemelua vastaan

$S_i$  = rakennusosan pinta-ala

$S_H$  = lattian pinta-ala

$$\Delta L_{A,kok} = 10 \log_{10} \left[ \frac{1}{\sum_{i=1}^n 10^{-\Delta L_{A,i}}} \right] \quad (3)$$

missä  $\Delta L_{A, kok}$  = rakennusosien yhdessä tuottama äänitasoero

$\Delta L_{A,i}$  = rakennusosan äänitasoero

Avattavien ikkunoiden ja ovien laboratoriossa määritetyistä ilmaäänieristävyysluvuista on vähennettävä laskennassa 3 desibelillä, sillä huomioidaan tiivisteiden, asennustyön sekä liittyvien rakenteiden vaikutus ilmaääneneristävyyskykyyn. Mikäli tiivistykseen käytetään uretaanivaahdon sijaan elastista massaa ja mineraalivillaa, eristys paranee noin 1 desibelin. (Laine, Yli-Kätkä & Hosiokangas 2014, 34 ja 41.)

#### 5.2.4 Ulko-oleskelualueet

Mikäli melutaso ulkotiloissa ylittää päiväaikana 55 dB tai yöaikana 50 dB (uusilla asuinalueilla 45 dB), on sisätilojen äänentason lisäksi ulkotilojen meluntorjuntaan kiinnitettävä huomiota. Rakennuksen pääsuunnittelijan kanssa voidaan pohtia, riittääkö rakennuksen ulko-oleskelutilojen sijoittaminen tontilla melunlähteeseen nähden siten, että se itsessään torjuisi melua vai pitääkö käyttää rakenteellista suojaa. Rakenteellisia suojia melua vastaan ovat meluaidat, meluvallit ja terassien- sekä parvekkeidenlasitukset. Tiiviillä puurakenteisella meluaidalla saavutetaan yleensä riittävä ääneneristävyys piha-alueen melun suojaukseen. Meluseinän äänen eristävyys vähimmäistasoksi voidaan asettaa 15 dB ... 20 dB (DLR äänen eristävyysluku), mikäli suojauksen vaimenustarve on alle 10 dB. Eristävyysluvun (DLR) 25 dB mukainen ääneneristävyys voidaan saavuttaa mm. seuraavilla rakenteilla; vähintään 20 mm paksu vaneri tai 6 mm vaneri + 20 mm lomalaudoitus. Lomalaudoituksella (22 x 125, 25 mm limityksin) voidaan saavuttaa ääneneristysluvut (DLR) 16 dB ... 22 dB (Väylävirasto 2021, 12–58; Luukka 2024.)

## 6 Rakennuksen ulkovaipan ääneneristävyyslaskentatyökalu

### 6.1 Tausta

Kehittämistyön taustalla oli toimeksiantajan tarve saada nopea ja tehokas sähköinen työkalu käsin laskennan korvaajaksi. Työkalulla saadaan suoritettua ääneneristyslaskennan laskentavaihe ja lopputuloksena tuloste, joka kertoo viranomaisille rakennuksen ulkovaipan ääneneristävyysluvun. Työkalulta vaadittiin helppokäyttöisyyttä ja nopeutta, siksi työkaluun sisällytettiin mahdollisimman paljon valmiiksi saatavia tietoja kuten melutyypin, ääneneristävyysvaatimuksen ja desibelivaihtoehdot. Työkalua on tarkoitettu kehittämään yhdessä toimeksiantajan kanssa sitä mukaan, kun kehitysideoita tulee. Työkalu luotiin Microsoft Excel-tilukkolaskentatyökaluun ja laskennan pohjana käytettiin RIL 243-1-2007 äänitasoeromenetelmän mukaisia kaavoja.

### 6.2 Työkalun luominen

Työkalun tekeminen aloitettiin kartoittamalla, mitä tietoja laskentaa varten tarvitaan. Tarvittavien lähtötietojen lisäksi työkaluun tarvittiin RIL 243-1-2007 äänitasoeromenetelmän mukaisia kaavoja

yhteensä neljä kappaletta. Kaavojen ymmärtämiseen opiskeltiin äänitasoeromenetelmää ja tutustuttiin tarkemmin sen kaavoihin, asiasta enemmän tämän työn luvussa 5.2.3. Seuraavaksi mietittiin, miten lähtötiedot saadaan mahdollisimman vaivattomasti työkalun kaavojen käyttöön ja miten manuaalisesti lisättävien lukuarvojen määrää saataisiin pienemmäksi. Tämän jälkeen luotiin työkalulle ulkoasu, jossa on lähtötiedot, tilaluettelotaulukko ja jokaiselle tilalle oma laskentataulukko. Kuviossa kahdeksan on laskentataulukon aloitussivu, jossa täytetään kohteen lähtötiedot ja tilaluettelotaulukko.

ÄÄNENERISTYSSELVITYS					
Kohde:			Vaatus: 30		
			Melutyyppi: Tieliikenne		
Yhteenveto tiloittain ja rakennusosittain ääneneristysvaatimuksia melua vastaan:					
Tila:	Koko (m <sup>2</sup> )	US (dB)	Ikkunat (dB)	YP (dB)	Tilan nro.
K+OH+KULKU+ET+YA	77,2	42 / 48	33 (k)	48	1
MH 11,5	11,5	42	33 (k)	48	2
MH 9,5	9,5	42	38 (a)	48	3
MH 16,5	16,5	42 / 48	38 (a) / 33 (k)	48	4
TYÖHUONE	10,5	42 / 48	38 (a) / 38 (a)	48	5
					6
					7
					8
					9
					10
(a)=avattavat, (k)= kiinteä					



Kuvio 8 Laskentatyökalun aloitusnäky

Kuviossa yhdeksän esitetään laskentataulukko, johon luotiin sarakkeet rakenneosille, pinta-alalle, ilmaääneneristävyydelle, varmuusluvuille, suhdeluvulle ja äänitasoerolle. Suhdelukujen ja äänitasoerolukujen sarakkeisiin tehtiin funktiot, jotka valittiin äänitasoeromenetelmän mukaan. Laskentataulukon alle luotiin solu, johon tehtiin funktio, jonka kaava on äänitasoeromenetelmän mukaan rakennusosien yhdessä tuottama äänitasoero. Tätä saatua lukua verrataan työkalun alkuun määriteltävään äänitasoerolukuun ja työkalu kertoo, täyttyykö annettu vaatimus.

Tilat:		Tila 1			Huoneen pinta-ala:	(m <sup>2</sup> )		
						77,2		
Rakenneosia	Pinta-ala (m <sup>2</sup> )	Ilmaaääneneristysluku (dB)	Varmuusluku (dB)	Avattavien ovien ja ikkunoiden varmuusluku (dB)	suhdeluku S <sub>i</sub> / S <sub>H</sub>	10log S <sub>i</sub> / S <sub>H</sub> (dB)	ΔL <sub>a,i</sub>	
US1	44	42	7	0	0,570	-2,44	37,4	
S/U	6,2	48	7	0	0,080	-10,95	52,0	
Ikkuna (k)	16,2	33	7	0	0,210	-6,78	32,8	
Terassinovi	4,1	37	7	3	0,053	-12,75	39,7	
Ulkoovi	2,3	35	7	3	0,030	-15,26	40,3	
YP	81,7	48	7	0	1,058	0,25	40,8	
			0	0	0,000	0,00	0,0	
Rakennusosien yhdessä tuottama äänitasoero ΔL <sub>a,kok</sub> :				30,01 dB	OK!			

Kuvio 9 yhden tilan laskentataulukko

Työkalun helppokäyttöisyyttä pyrittiin vahvistamaan solujen värjäämisellä, ainoastaan taulukoiden sisällä valkoisiin soluihin tulee kirjoittaa, sinisiin luotiin vetoluettelot ja vihreät osat sisältävät kaavoja, jotka työkalu laskee annettujen lähtötietojen perusteella.

Työkalua tullaan päivittämään jatkossa yhteistyössä toimeksiantajan kanssa. Tarpeellisia uudistuksia seurataan työkalun toimivuuden perusteella ja lisäykset tehdään tarpeen mukaan. Yksi tarpeellinen ominaisuus, joka työkaluun tullaan päivittämään, on vakioidut rakenneosat, joiden perusteella työkalun käytön nopeutta saadaan lisättyä.

Työkalun tavoitteena on luoda laskennasta dokumentti, jossa näkyvät kohteen lähtötiedot, kaikki laskennassa olevat tilat, niiden rakennusosien omat ja yhdessä tuottama äänitasoero ja äänitasoeron vertaus äänitasoerovaatimukseen. Työkalun luoma dokumentti esitetään kuviossa kymmenen, esimerkki dokumentissa näkyy lähtötietosivu + yhden tilan laskentataulukko.

## Kuvio 10 Laskentatyökalun luoma dokumentti ääneneristys selvityksen liitteeksi

ÄÄNERISTYSSELVITYS					
Kohde:					
Vaatus (dB):	30				
Melutyyppi:	Tielikenne				
Yhteenveto tiloittain ja rakennusosittain ääneneristysvaatimuksia melua vastaan:					
Tila:	Koko (m <sup>2</sup> )	US (dB)	Ikkunat (dB)	YP (dB)	Tilan nro.
K+OH+KULKU+ET+YA	77,2	42 / 48	33 (k)	48	1
MH 11,5	11,5	42	33 (k)	48	2
MH 9,5	9,5	42	38 (a)	48	3
MH 16,5	16,5	42 / 48	38 (a) / 33 (k)	48	4
TYÖHUONE	10,5	42 / 48	38 (a) / 38 (a)	48	5
					6
					7
					8
					9
					10
(a)=avattavat, (k)= kiinteä					



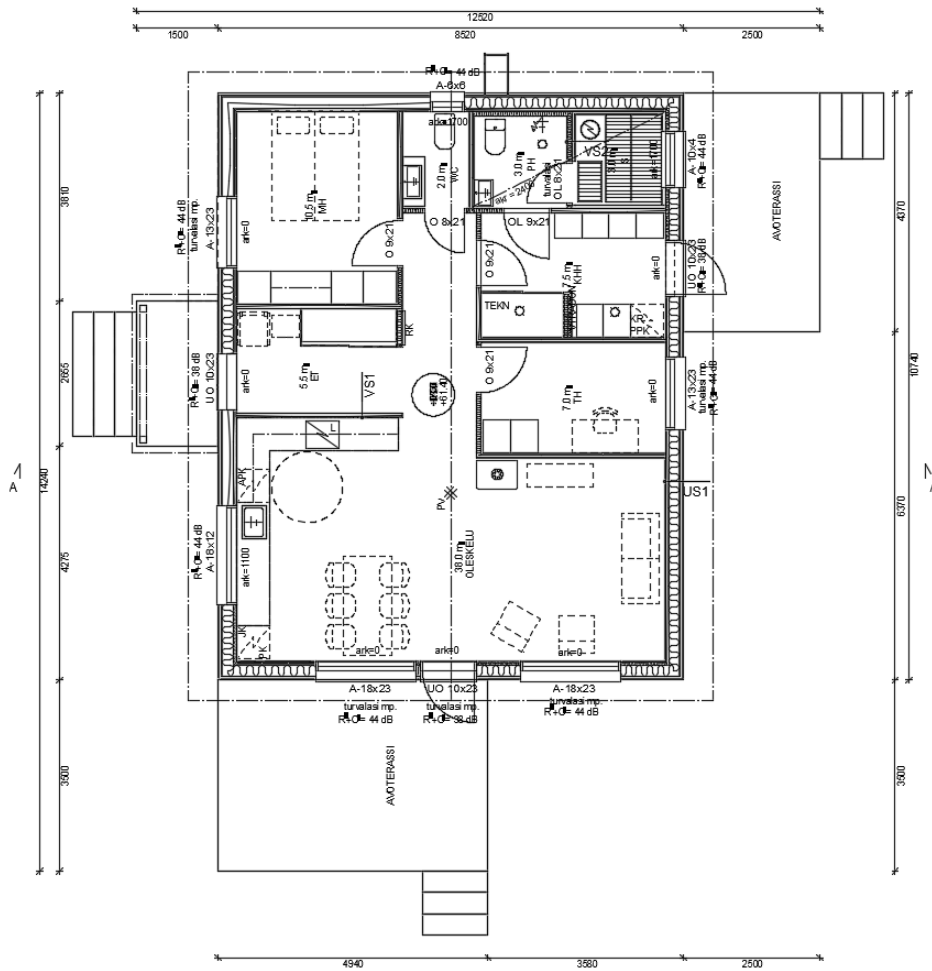
Tilat:		Huoneen pinta-ala: (m <sup>2</sup> )					
Tila 1		77,2					
Rakenneos	Pinta-ala (m <sup>2</sup> )	Ilmaääneneristysluku (dB)	Varmuusluku (dB)	Avattavien ovien ja ikkunoiden varmuusluku (dB)	suhdeluku $S_i / S_{ii}$	10log $S_i / S_{ii}$ (dB)	$\Delta L_{s,i}$
US1	44	42	7	0	0,570	-2,44	37,4
S/U	6,2	48	7	0	0,080	-10,95	52,0
Ikkuna (k)	16,2	33	7	0	0,210	-6,78	32,8
Terassinovi	4,1	37	7	3	0,053	-12,75	39,7
Ulkooovi	2,3	35	7	3	0,030	-15,26	40,3
YP	81,7	48	7	0	1,058	0,25	40,8
			0	0	0,000	0,00	0,0
Rakennusosien yhdessä tuottama äänitasoero $\Delta L_{s,10k}$ :				30,01 dB	OK!		

### 6.3 Laskentatyökalun koekäyttö

Teimme yhdessä toimeksiantajan kanssa laskentatyökalulle koekäytön, jonka tarkoituksena oli tarkastella sen toimivuutta ja mahdollisten puutteiden selvittämistä. Kohteeksi otimme pienen omakotitalo rakennuksen, jossa on kolme tilaa samalla ääneneristävyysvaatimuksella. Rakennusta tarkasteltiin tieliikennemelualueella. Rakennuksessa oli sekä avattavia että kiinteitä ikkunoita. Kuviossa yksitoista esitetään rakennuksen pohjakuva, kuvassa mitat, pinta-alat, ikkunoiden ja ovien tyypit ja ulkoseinätyyppien sijainnit. Kuviossa kaksitoista esitetään rakenneleikkaus, jossa yläpohjan ja ulkoseinän sijainti.

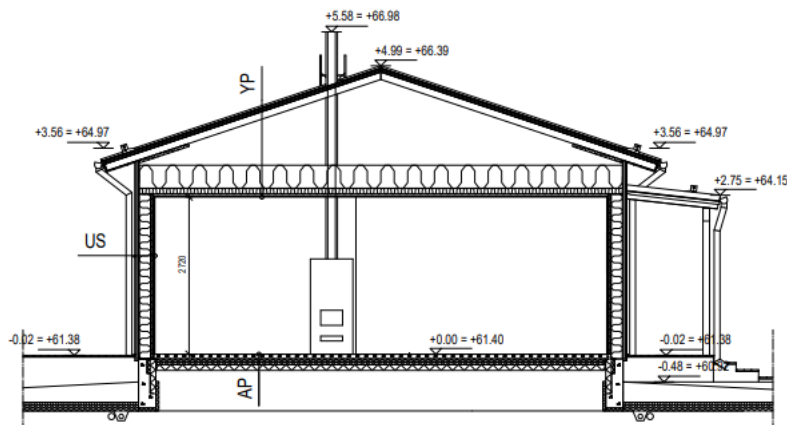
Rakennuksen ulkoseinän rakenne on ulkoa sisäänpäin: ulkoverhouslauta 23 mm, tuuletusrako/koolaus 48 mm, tuulensuojalevy 25 mm, puurunko + mineraalivilla 198 mm, höyrynsulkumuovi, vaakakoolaus + mineraalivilla 48 mm sekä kipsilevy 13 mm. Perusseinärakenteen ääneneristysluku on 42 dB ( $R_w+C_{tr}$ )

Rakennuksen yläpohjan (YP) rakenne on ulkoa sisäänpäin: peltikate, ruodelaudoitus, korokerima 22 mm, aluskate, ristikkoyläpohja + lämmöneriste puhallusvilla 500 mm, höyrysulkumuovi, koo-laus 48 mm ja kipsilevy 13 mm. Rakenteen ääneneristävyyden on 49 dB ( $R_w+C_{tr}$ )



Kuvio 11 Rakennuksen pohjakuva

LEIKKAUS A - A



Kuvio 12 A-A rakenneleikkaus

Mielestämme työkalu toimi tämän kokoisen rakennuksen laskennassa tarkoituksen mukaisesti, se yksinkertaisti laskentaa ja tuotti helppolukuisen dokumentin äänieristys selvityksen liitteeksi. Monimutkaisemmissa kohteissa voisi olla hyvä, jos työkalussa olisi valmiita rakennemalleja, joiden tiedot päivittyisivät laskelmaan automaattisesti. Koekäytöstä syntynyt dokumentti on Liite 1.

## 7 Yhteenveto ja pohdinta

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tutustua ääneneristämiseen ja toteuttaa toimeksiantajalle laskentatyökalu rakennuksen ulkovaipan ääneneristävyyden laskentaan, toimeksiantaja oli Luukka Oy. Laskentatyökalun tarkoitus on helpottaa aiemmin käsin tehtävää laskentaa ja lisäksi tuottaa valmis dokumentti laskennasta äänieristys selvityksen liitteeksi. Laskentatyökalu on tarkoitettu pientalojen ja rivitalojen, sekä yksittäisten huoneistojen ulkovaipan ääneneristävyyden laskentaan.

Opinnäytetyön teoriaosio käsitteli ääntä fysikaalisena ilmiönä ja sen lähdeaineistona toimi alan kirjallisuus, suunnitteluohjeet, laet, määräykset, asetukset, sähköiset asiakirjat ja dokumentit. Työn toiminnallisessa osiossa toteutettiin teoriaosion ja toimeksiantajan haastattelun pohjalta laskentatyökalu, jonka toimivuutta testattiin laskenta käytössä. Laskentatyökalu luotiin Microsoft Excel-

taulukkolaskentatyökaluun. Lähdeaineistoa voidaan pitää eettisenä ja luotettavana, koska sen julkaisijat ovat alan ammattilaisia ja julkaisijatahot ovat kansallisesti tunnettuja. Lisäksi lähteinä oli erilaisia lakeja, määräyksiä yms., joiden ajantasaisuus tarkastettiin ennen käyttöä.

Opinnäytetyön aihe kiinnosti minua, koska halusin oppia ääneneristävyysslaskentaa laajemmin, lisäksi halusin tutkia Excelin käytön mahdollisuutta. Työn haasteena oli vähäinen tietoni ääneneristävyydestä ja sen laskemisesta. Työtä tehdessä opin paljon rakennusten ääneneristävyyteen vaikuttavista tekijöistä ja melun aiheuttajista, lisäksi tutustuin ääneneristävyyksivaatimukseen ja ohjearvoihin. Toimeksiantajan avustuksella ja lähdekirjallisuuteen tutustuen ymmärsin työssä käytetyn laskentamenetelmän edut. Työn lopputuloksena toimeksiantaja sai toimivan laskentatyökalun äänieristys selvityksien toteuttamisen tueksi.

## Lähteet

Asemakaavamerkinnot ja -määräykset. Opas 12. Ympäristöministeriö. Viitattu 16.3.2024.

<https://ym.fi/documents/1410903/155128351/Opas+12+Asemakaavamerkinnot%3%A4t+ja+-m%3%A4%3%A4r%3%A4ykset,+sivut+109-210.pdf/0b84fbbd-02df-8737-9723-56e8ea1e4029/Opas+12+Asemakaavamerkinnot%3%A4t+ja+-m%3%A4%3%A4r%3%A4ykset,+sivut+109-210.pdf?t=1680090390202>.

Borenus, J. 1981. Luvut 2–10. Teoksessa Akustiikan perusteet. Toim. Borenus, J., Lampio, E., Pesonen, K., Jauhiainen, T., Nuotio, J., Pyykkö, I. & Insinööritieto Oy. Helsinki: Insinööritieto Oy, 10–94.

Tampere-Pirkkalan lentoaseman siviililentoliikenteen melunhallintasuunnitelma. 2017. Toimintaohje. Finavia. Viitattu 16.3.2024. <https://www.finavia.fi/sites/default/files/documents/Toimintaohje%20-%20000663%20-%20Tampere-Pirkkalan%20lentoaseman%20siviililentoliikenteen%20melunhallintasuunnitelma%20%28ID%205349%29.pdf>.

Halme, A. 1977. Rakennus- ja huoneakustiikka meluntorjunta. Espoo: Otapaino.

Halme, A. & Halme-Salo, E. 2003. Äänieristyksen toteuttaminen. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.

Hopkins, C. 2009. Sound insulation. Slovenia: Butterworth-Heinemann

Kylliäinen, M., Tervo, S & Yli-Pietilä, A. 2022. Talonrakentamisen akustiikka. Erillisteokset ja sarjajulkaisut. Tampereen yliopisto. Viitattu 3.2.2024 <https://trepo.tuni.fi/bitstream/handle/10024/144820/978-952-03-2743-9.pdf?sequence=2&isAllowed=y>.

Kylliäinen, M. 2006. Talonrakentamisen akustiikka. Tutkimusraportti 137. Tampereen teknillinen yliopisto. Rakennetekniikan laitos. Viitattu 3.2.2024 [https://trepo.tuni.fi/bitstream/handle/10024/128338/kylliainen\\_talonrakentamisen\\_akustiikka.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://trepo.tuni.fi/bitstream/handle/10024/128338/kylliainen_talonrakentamisen_akustiikka.pdf?sequence=1&isAllowed=y).

Laine, P., Yli-Kätkä, V. & Hosiokangas, J. 2014. Ikkunoiden äänieristävyysominaisuudet ja niiden vaikutus julkisivujen ääneneristävyyteen. Kirjallisuusselvitys. Liikennevirasto. Viitattu 29.3.2024. [https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/121023/lts\\_2014-52\\_978-952-317-030-8.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/121023/lts_2014-52_978-952-317-030-8.pdf?sequence=1&isAllowed=y).

Liikennemelu ja koti. 2019. Neuvoja asuintalon meluntorjuntaa. Liitteet. Kaupunkiympäristön toimiala. Helsingin kaupunki. Viitattu 22.3.2024. <https://www.hel.fi/static/liitteet/kaupunkiymparisto/asuminen-ja-ymparisto/ymparistonsuojelu/liikennemelu-ja-koti.pdf>.

Liikonen, L. 2013. Johdatus ympäristömeluun. Ohje. ELY-keskus. Viitattu 27.3.2024. [https://www.ely-keskus.fi/documents/10191/2073102/Liikonen\\_Johdatus\\_ymp%C3%A4rist%C3%B6meluun.pdf](https://www.ely-keskus.fi/documents/10191/2073102/Liikonen_Johdatus_ymp%C3%A4rist%C3%B6meluun.pdf).

Luukka, R. 2024. Rakennustekniikan diplomi-insinööri. Luukka Oy. Haastattelu 27.3.2024.

Luodetlahti, K. 1999. Äänen eristys ja meluntorjunta. Teoksessa Tekninen eristäminen. Toim. Mäkelä, S. Helsinki: Hakapaino, 153–185.

Maankäyttö- ja rakennuslaki (Alueidenkäyttölaki) 132/1999. Meluntorjunta ja ääniolosuhteet. Annettu 5.2.1999. Viim. muutos 1.1.2024. Viitattu 16.3.2024. <https://finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1999/19990132>.

Meluselvytys. Palvelu. Akustiikkapalvelut. A-insinöörit. Viitattu 27.3.2024. <https://www.ains.fi/palvelumme/akustiikkapalvelut/meluselvytys>.

Melu ja tärinä. 2023. Ohje. Väylävirasto. Viitattu 27.3.2024. <https://vayla.fi/ymparisto/melu-tarina>.

Melun vaikutukset 2017. Kuulolla työssä- viestintäkampanja. Kuuloliitto ry. Viitattu 2.2.2024 <https://www.kuuloliitto.fi/wp-content/uploads/2017/09/Melun-vaikutukset.pdf>.

Opinnäytetyöopas YAMK. 2024. 1.3 Tutkimuksellisen kehittämistyön lähestymistavat ja menetelmät. Opas. Humanistinen ammattikorkeakoulu. Viim. muutos 14.3.2024. Viitattu 30.4.2024. <https://humak.libguides.com/c.php?g=688355&p=4925417>.

Perustietoa melusta. Ympäristövalvonta. Espoon kaupunki. Viitattu 27.3.2024. <https://www.es-poo.fi/fi/asuminen-ja-rakentaminen/ymparistonsuojelu/ymparistovalvonta/meluntorjunta/perustietoa-melusta#melualue-ja-hiljainen-alue-15438>.

Rakentamislaki 751/2023. Meluntorjunta ja ääniolosuhteet. Tulee voimaan 1.1.2025. Viitattu 29.4.2024. <https://finlex.fi/fi/laki/alkup/2023/20230751#Pidm46651394898016>.

RIL 243-1-2007. 2007. Rakennuksen akustinen suunnittelu. Akustiikan perusteet. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.

Siikanen, U. 2014. Rakennusfysiikka. Perusteet ja sovelluksia. Tampere: Rakennustieto Oy.

Teiden ja ratojen melusteiden suunnittelu. 2021. Ohje. Väyläviraston ohjeita 34k/2021. Väylävirasto.

Toikko, T. & Rantanen, T. 2009. Tutkimuksellinen kehittämistoiminta. Tampere: Tampereen Yliopistopaino Oy – Juvenes Print.

Vantaan kaupungin rakennusjärjestys. 2010. Luvat ja ohjeet. Rakennusvalvonta. Vantaan kaupunki. Viitattu 27.3.2024. <https://www.vantaa.fi/sites/default/files/document/Vantaan-kaupungin-rakennusjarjestys.pdf>.

Ympäristöministeriö. 2003. Rakennuksen julkisivun ääneneristävyyden mitoittaminen. Ympäristöopas 108. Helsinki: Edita Prima.

Ympäristöministeriö. 2003. Ääneneristys rakennuksessa. Ympäristöopas 99. Tampere: TammerPaino.

Ääniympäristö. 2018. Ohje. Ympäristöministeriön ohje rakennuksen ääniympäristöstä. Ympäristöministeriö. Viitattu 2.2.2024 [https://ym.fi/documents/1410903/38439968/Ymparistoministerion-ohje-rakennuksen-aaniymparistosta-2852D34E DA43 4DCA 9CEE 47DBB9EFCB08-138568.pdf](https://ym.fi/documents/1410903/38439968/Ymparistoministerion-ohje-rakennuksen-aaniymparistosta-2852D34E_DA43_4DCA_9CEE_47DBB9EFCB08-138568.pdf).

Ääneneristys. 2020. Pilari- ja palkkirakenteet. Rankarakenteet. Puuinfo. Julkaistu 10.7.2020. Viitattu 14.3.2024. <https://puuinfo.fi/rakenteet/pilari-palkkirakenteet/aaneneristys/>.

Ääneneristys. 2020. Suunnittelu. Määräykset. Puuinfo. Julkaistu 13.7.2020. Viitattu 27.3.2024. <https://puuinfo.fi/suunnittelu/maaraykset/aaneneristys/>.

769/2017. Ympäristöministeriön asetus rakennuksen ääniympäristöstä. Tullut voimaan 1.1.2018. Viitattu 16.3.2024. <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2017/20170796>.

993/1992. Valtioneuvoston päätös melutason ohjearvoista. Ast. voimaan 1.1.1993. Viitattu 16.3.2024. <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/1992/19920993>.

