

Ruukin® ääniympäristöratkaisu

Osana rakennuksen seinä- ja kattoratkaisuja toteutettu ääniympäristö

Suunnitteluohjeet

Johdanto

Rakennuksen suunnittelussa on tärkeää ottaa huomioon sisätilojen ääniympäristö. Äänen jälkikaiunta-aika, puheen erotettavuus ja melutaso ovat tekijöitä, jotka määräävät ääniympäristön laadun tilassa.

Tarkoituksenmukainen ääniympäristö on keskeisen tärkeä, kun tilan halutaan sopivan tarkoitukseensa, olipa se sitten monitoimihalli, valintamyymälä tai teollinen tuotantotila. Huoneakustiikka on termi, jolla tarkoitetaan akustiikan aluetta, joka käsittelee ääniympäristöä tilassa.

Huoneakustiikan suunnittelun tavoitteena on saada aikaan ääniympäristö, joka on tarkoituksenmukainen tilan ja tilan käyttäjien näkökulmasta, hallitsemalla äänen etenemistä, heijastumista ja hajaantumista. Näiden tavoitteiden saavuttamiseksi käytetyillä suunnittelutyökaluilla valitaan akustisten ääntä vaimentavien materiaalien oikea määrä ja sijainti sekä sopivat pinnat ja geometria tilassa. Huonosti suunnitellusta ääniympäristöstä voi aiheutua ongelmia, kuten suuri taustamelun taso, liian pitkä jälkikaiunta-aika ja puheen heikko erotettavuus. Liian voimakas äänen eteneminen ja melun leviäminen voivat häiritä jo kohtalaisilla äänitasoilla ja vaikeuttaa keskittymistä, viestintää tai muistia vaativien tehtävien tehokasta suorittamista. Sopiva ääniympäristö on erittäin tärkeä, jotta tilasta tulee tarkoitukseensa sopiva ja sen käyttökokemuksesta miellyttävä.

Asiat, joihin akustiikan suunnittelussa on kiinnitettävä huomiota, vaihtelevat rakennusten ja tilojen tyyppin mukaan. Suurien hallien kaltaisissa rakennuksissa, joissa on vähän melua vaimentavia materiaaleja, pitkistä jälkikaiunta-ajasta voi tulla ongelma. Liian pitkistä jälkikaiunta-ajasta voi seurata puheen erotettavuuden heikentyminen, melun leviäminen ja taustamelun voimistuminen.

Teollisissa prosesseissa melutasot ovat suuria, mikä lisää kuulosuojaimien käytön tarvetta. Lisäksi teollisuusrakennuksissa on usein suuria ja avoimia tiloja, joissa jälkikaiunta-aika voi pahentaa jo ennestään suurta melutasoa. Meluntorjunta on sen vuoksi tärkein asia, joka teollisuustilojen akustiikan suunnittelussa on otettava huomioon. Kuulosuojainten tarvetta voidaan vähentää pienentämällä teollisuustilojen melutasoa.

Monitoimihalleissa huoneakustiikan vaatimukset voivat vaihdella tilan käytön mukaan. Esimerkiksi konsertti edellyttää, että yleisö kuulee esiintyjän tuottaman äänen mahdollisimman selkeästi.

Kun hallia käytetään urheilemiseen, tavoitteena on parantaa käyttäjien välistä viestintää. Tällaisissa rakennuksissa huoneakustiikan tavoitteena on varmistaa, että tila on sopiva kaikkiin suunniteltuihin käyttötarkoituksiinsa, hallitsemalla jälkikaiunta-aikaa tilassa ja varmistamalla puheen erotettavuus.

Valintamyymälöissä tai ostoskeskuksissa asiakkaista aiheutuva melu voi tehdä ostoskokemuksesta vähemmän miellyttävän ja heikentää esimerkiksi myymälän kuulutusjärjestelmien kautta annettujen ilmoitusten erotettavuutta. Lisäksi pitkistä jälkikaiunta-ajasta voi tulla niissä muiden suurten tilojen tavoin ongelma, jos tarvittaviin toimenpiteisiin ei ryhdytä. Huoneakustiikan suunnittelun tavoitteena on tällaisessa tapauksessa hallita melutasoa ja jälkikaiunta-aikaa. Sopiva ääniympäristö parantaa käyttökokemusta ja voi parantaa brändimielikuvaa tekemällä tilasta viihtyisemmän asiakkaille.

Osa I

1 HUONEAKUSTIIKAN SUUNNITTELU

1.1 ÄÄNEN ABSORPTIO JA JÄLKIKAIUNTA-AIKA

Kun ääni on vuorovaikutuksessa huonepintojen kanssa, osa sen energiasta heijastuu takaisin, osa kulkee pinnan läpi ja loppuosa muuttuu lämpöenergiaksi pintamateriaalissa. Tätä ilmiötä kutsutaan äänen absorptioksi. Äänen absorptiota tapahtuu myös silloin, kun ääni kulkee väliaineen kautta. Joidenkin väliaineiden absorptio-ominaisuudet ovat muita paremmat; esimerkiksi ilma ei absorboi ääntä kovinkaan hyvin huoneenlämpötilassa, kun taas mineraalivilla voi absorboida sitä erittäin tehokkaasti. Materiaaleja, jotka absorboivat ääntä tehokkaasti, käytetään vähentämään äänen heijastumista ja taustamelua tilassa. Tuotteen akustinen absorptio-ominaisuus ilmaistaan käyttämällä absorptiokerrointa α , joka tarkoittaa äänen intensiteettiä materiaalin pinnalla suhteessa materiaalikerroksen absorboimaan äänen intensiteettiin. Absorboivan materiaalin määrä tilassa voidaan puolestaan ilmaista käyttämällä termiä absorptioala A , joka tarkoittaa absorboivan materiaalin pinta-alaa kerrottuna sen absorptiokertoimella. Tilan absorptioala ilmoitetaan usein prosenttiosuutena tilan pinta-alasta.

Tärkeä huoneakustiikan parametri on jälkikaiunta-aika T . Jälkikaiunta-aika tarkoittaa aikaa, jonka kuluessa äänenpainetaso laskee tilassa 60 dB äänilähteen sammuttamisen jälkeen. Kansallisissa rakennusmääräyksissä on usein esitetty vaatimukset tilan suurimmalle sallitulle jälkikaiunta-ajalle. Vaatimukset vaihtelevat tavallisesti rakennuksen tyyppiin ja käyttötarkoituksen mukaan. Tilan jälkikaiunta-aikaa T voidaan hallita suurentamalla tai pienentämällä tilan absorptioalaa A . Absorptioala ja jälkikaiunta-aika liittyvät toisiinsa; absorptioalan suurenessa jälkikaiunta-aika lyhenee ja päinvastoin. Jälkikaiunta-ajan arvioimiseen tilassa käytetään usein Sabine'n kaavaa, jonka Wallace Clement Sabine kehitti 1800-luvulla:

$$T = 0,16 \frac{V}{A}$$

kaavassa V tarkoittaa huoneen tilavuutta. Sabine'n kaava toimii kaikkein tarkimmin silloin, kun tila on suuri ja suorakulmion muotoinen ja absorboivat materiaalit jakaantuvat tasaisesti huoneen kaikilla pinnoilla. Jälkikaiunta-ajan arvioimiseksi on kehitetty myös muita kaavoja, mutta Sabine'n kaava on edelleen yleisimmin käytetty.

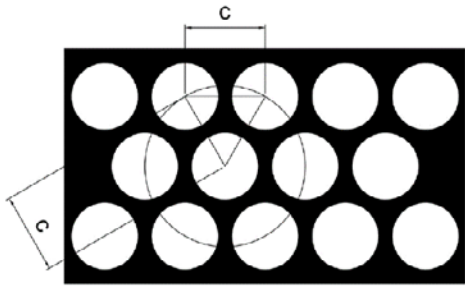
1.2 MELUA VAIMENTAVAT MATERIAALIT JA RAKENTEET

Melun vaimentamiseen yleisesti käytettyjä materiaaleja ovat huokoiset materiaalit, perforoidut levyt ja levyresonaattorit. Melua vaimentavat materiaalit jaetaan absorptioluokkiin A, B, C, D ja E standardin ISO 11654 mukaisesti. Luokan A materiaalien absorptio-ominaisuudet ovat parhaat. Absorptioluokat määritetään materiaalin painotetun absorptiokertoimen perusteella. Standardin mukaan määritetty absorptioluokka on suunniteltu antamaan yleiskäsitys materiaalin absorptio-ominaisuuksista laajalla taajuuskaistalla. Tämä voi auttaa ääntä vaimentavien tuotteiden valinnassa.

Materiaalin tai rakennekerroksen absorptiokerroin α voidaan mitata laboratoriossa standardin ISO 354 mukaisesti. Mittaustulokset voidaan ilmoittaa joko painotettuna absorptiokertoimenä α_w tai oktaavikaistoina. Huoneakustiikan suunnittelussa käytetään 1/1-oktaavikaistan arvoja. Standardin ISO 11654 mukaan painotettu absorptiokerroin määritetään vertaamalla absorptiokertoimen mitattuja 1/3-oktaavikaistan arvoja viitekäyrään.

Huokoiset materiaalit, kuten mineraalivilla, ovat yksinkertaisia ja yleisiä äänenvaimennusmateriaaleja. Niillä on matala ominaisimpedanssi, joka mahdollistaa ääniaaltojen siirtymisen lähes esteettä. Huokoisen materiaalin sisällä äänienergia muuttuu lämmöksi.

Perforoidut materiaalit ovat yleensä ohuita levyjä, joihin on tehty ryhmä pieniä reikiä. Ilmatäytteinen ontelo erottaa perforoidun levyn heijastavasta taustapinnasta. Levyssä olevassa reiässä oleva ilma muodostaa yhdessä levyn takana olevassa ontelossa olevan ilman kanssa jousimassajärjestelmän. Absorptiokerrointa voidaan parantaa suurentamalla ilmapölyn kokoa ja käyttämällä ontelossa ääntä vaimentavia materiaaleja, kuten mineraalivillaa. Levyn perforointi vaikuttaa myös resonaattorin äänenvaimennukseen. Esimerkki perforointikuviosta on esitetty kuvassa 1.



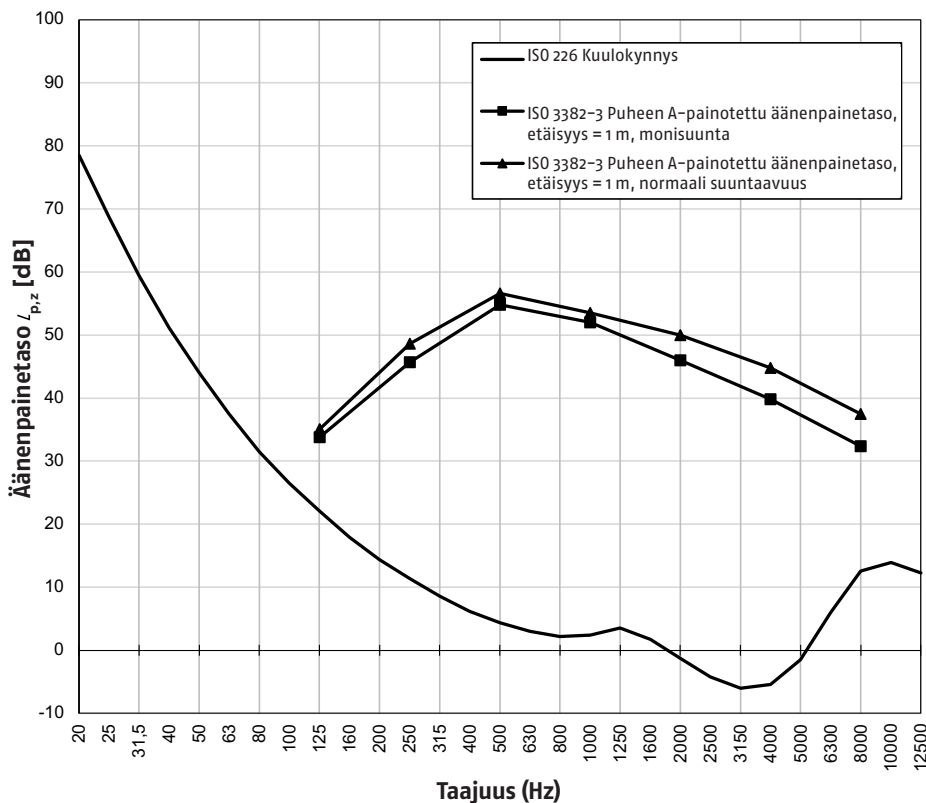
Kuva 1: Esimerkki kolmion muotoisesta perforointikuviosta, jossa c tarkoittaa reikien välistä etäisyyttä.

Kun reikien koko kasvaa liian suureksi suhteessa levyn paksuuteen, jousimassajärjestelmän tehokkuus heikkenee. Äänen vaimennusta tehostetaan silloin käyttämällä perforoidun levyn takana ääntä vaimentavaa kerrosta. Reikien kokoa voidaan suurentaa tai pienentää käyttötarkoituksen mukaan. Levyn suurempi perforointi (%) tehostaa äänenvaimennusta.

1.3 PUHEEN SIIRTYMINEN JA EROTETTAVUUS

Puheen erotettavuutta tilassa kuvastaa puheensiirtoindeksi STI . Pieni STI -arvo tarkoittaa, että puheen erotettavuus on heikko, ja päinvastoin. Puheensiirtoindeksin arvot ovat 0–1. Kun STI on 1, puheen erotettavuus on täydellinen: kaikki tavut erottuvat. Kun STI on 0, yksikään tavu ei erotu.

Tavoiteltu STI -arvo vaihtelee suunnitellun tilan tyypin mukaan. Auditoriossa on toivottavaa, että STI -arvo on 0,60–0,75. Avokonttorissa puolestaan alhaisempi STI -arvo 0,5 on toivottava, koska puhe voi häiritä ja heikentää keskittymiskykyä. Puheensiirtoindeksiin vaikuttavat taustamelun taso ja jälkikaiunta-aika T huoneessa.



Kuva 2: Ihmisen kuulokynnys (ISO 226) ja ihmisperheen A-painotettu äänenpainetaso (ISO 3382-3).

Ihmisen kuulokynnys ja ihmispuheen A-painotettu äänenpainetaso on esitetty kuvassa 2. Kuvasta voidaan nähdä, että keskitaajuuudet ja korkeat taajuuudet ovat ihmisen puheelle tärkeimpiä. Ihminen myös kuulee samat taajuuudet kaikkein helpoiten. Nämä taajuuudet ovat tärkeitä puheen erotettavuudelle.

1.4 ÄÄNEN ETENEMINEN TILASSA

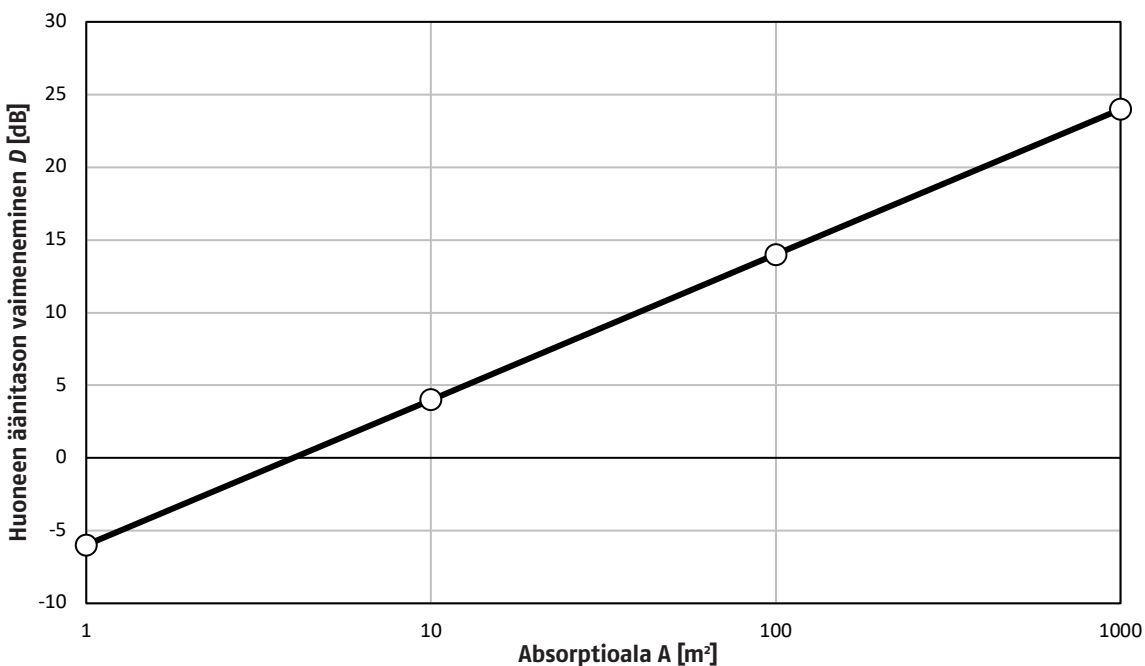
Diffuusissa äänikentässä äänenpainetaso, jonka äänilähde tuottaa äänitehotasolla L_w , vaihtelee huoneen absorptioalan A perusteella:

$$L_p = L_w - 10 \log_{10} \left(\frac{A}{4} \right)$$

Kun ääni kulkee äänilähteestä ja heijastuu huoneen rajapinnoista, osa ääniaallon energiasta absorboituu kyseisiin rajapintoihin. Tätä kutsutaan huoneen äänitason vaimentumiseksi. Huoneen äänitason vaimentuminen tapahtuu suhteessa absorptioalaan ja voidaan määrittää äänenpainetasoyhtälön toisen lausekkeen mukaan:

$$D = 10 \log_{10} \left(\frac{A}{4} \right)$$

Huoneen absorptioalan suuretsa äänilähteiden huoneessa tuottama äänenpainetaso pienenee. Kun huoneen absorptioala A kaksinkertaistetaan, äänitason vaimeneminen D paranee 3 dB. Tyypillisiä äänilähteitä huoneessa ovat ihmispuhe, koneet, LVI-laitteet jne. Huoneen äänitason vaimennus on esitetty absorptioalan funktiona kuvassa 3.



Kuva 3: Huoneen äänitason vaimeneminen D absorptioalan A funktiona.

Huoneen äänitason vaimenemisen arvo on positiivinen silloin, kun huoneen absorptioala on suurempi kuin 4 m². Kun absorptioala on pienempi kuin 4 m², huoneen pinnat heijastavat ääntä hyvin voimakkaasti. Huoneen rajapinnat eivät vaimenna ääntä ja äänenpaineentaso suurenee huoneessa. Tässä tapauksessa huoneen äänitason vaimeneminen saa negatiivisen arvon.

Diffuusissa äänikentässä äänilähteen tuottama äänenpainetaso on yhtä suuri äänikentän kaikissa pisteissä. Huoneissa, joissa äänikenttä on lähellä diffuusia äänikenttää, jälkikaiunta-aika T on hyvä huoneen akustiikan laatumittari. Jos suuressa tilassa jokin huonemitoista on huonekorkeutta merkittävästi suurempi, ääntä vaimentavia materiaaleja on paljon tai äänen etenemisreitillä on esteitä, äänilähteen tuottama äänenpainetaso voi pudota merkittävästi etäisyyden äänilähteestä kasvaessa. Tässä tapauksessa äänikenttä ei ole diffuusi. Esimerkiksi teollisuustilojen ja avokonttorien äänikenttä ei tavallisesti ole diffuusi, koska tilat ovat suuria ja niissä on äänen etenemistä estäviä kohteita.

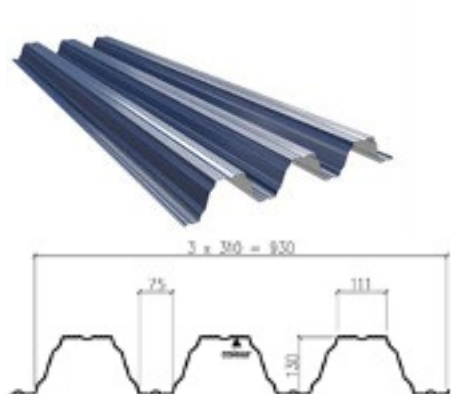
Tiloissa, joissa ei ole diffuusia äänikenttää, tilan akustiikan laadun mittana voidaan käyttää äänen spatiaalisen hajaantumisen nopeutta DL_2 . Äänen spatiaalisen hajaantumisen nopeus DL_2 määritetään ottamalla huomioon absorptioala huoneessa ja etäisyys äänilähteestä. Se ilmaisee äänenpainetaso alenemisen, kun etäisyys äänilähteestä kaksinkertaistuu. Äänen hajaantumisen nopeutta DL_2 voidaan käyttää myös liian suuren äänenpainetaso DL_1 määrittämiseen. Siinä äänen etenemistä tilassa verrataan äänen etenemiseen ulkona.

Äänen hajaantumisen nopeus DL_2 voidaan määrittää tietyillä empiirisillä regressiokaavoilla tai tietokonesimulaatiolla, vaikka niihin liittyy tietty epävarmuus, koska DL_2 on varsin tapauskohtainen. Luotettavin tapa määrittää äänen spatiaalisen hajaantumisen nopeus on tehdä kenttämittauksia, jotka voidaan tehdä vain valmiissa rakennuksessa. Suunnitteluvaiheessa tilan huoneakustiikan arvioimiseen voidaan käyttää jälkikaiunta-aikaa T .

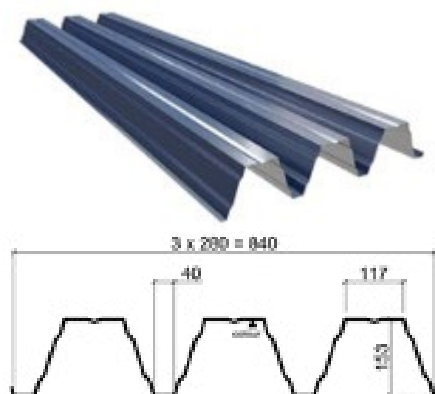
2 RUUKIN KANTAVAT PROFIILILEVYT

2.1 KANTAVAT POIMULEVYT RUUKKI T130M JA T153

Ruukki T130M ja T153 ovat kantavia profiililevyjä, joita käytetään teollisuus-, toimisto- ja julkisissa rakennuksissa sekä urheiluhallissa. Kuormankesto, mitoitus ja kiinnitys on suunniteltu Ruukin POIMU-ohjelmalla. Ruukin kantavat poimulevyt on suunniteltu kestämiin tuuli- ja lumikuormat sekä tarvittaessa muut kuormat, kuten aurinkopaneelit. T130M- ja T153-profiilit on esitetty kuvassa 4. Tyypillinen kattorakenne, jossa on käytetty kantavaa poimulevyä, on esitetty kuvassa 5.

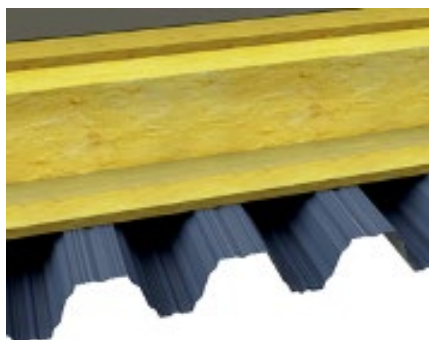
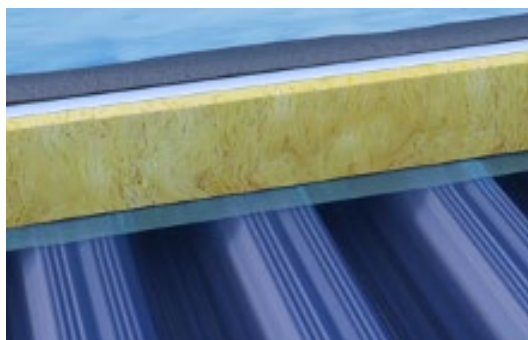


Ruukki T130M



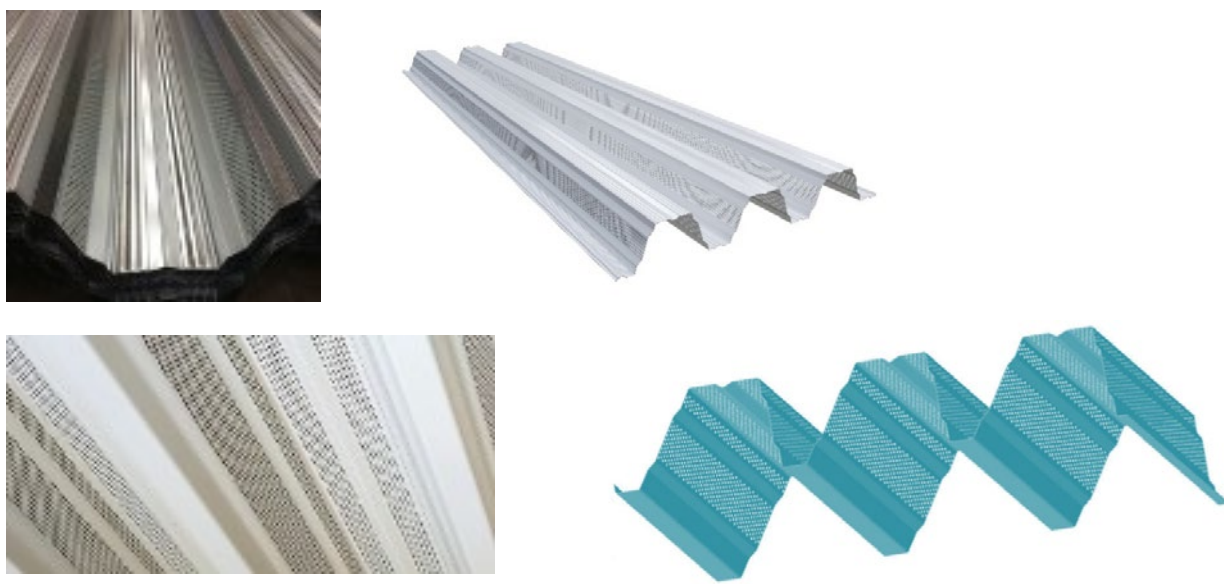
Ruukki T153

Kuva 4: Ruukin kantavat T130M- ja T153-profiililevyt.



Kuva 5: Tyypillinen kattorakenne, jossa on käytetty Ruukin kantavia profiililevyjä. Kantavan poimulevyn päällä on lämpöeristekerros, höyrönsulku ja vesitiivis pintakerros.

Poimulevyjen perforointi parantaa niiden absorptio-ominaisuuksia merkittävästi. Perforoituja poimulevyjä käyttämällä ääniympäristöä parantavat äänenvaimennuspinnat voidaan integroida varsinaiseen kattorakenteeseen, mikä vähentää tarvetta ääntä asentaa ääntä vaimentavia lisäkerroksia katon sisäpinnalle. Esimerkkejä perforointikuvioista on kuvassa 6.



Kuva 6: Esimerkkejä Ruukin perforoiduista kantavista poimulevyistä T130M ja T153.

Ruukin perforoitujen profiililevyjen uriin voidaan lisätä mineraalivillaa, mikä parantaa äänenvaimennusta entisestään. Akustisen lisärakenteen materiaali voidaan asentaa katon rakennusvaiheessa, mikä on kustannustehokkaampi vaihtoehto kuin ääntä vaimentavien materiaalien asennus katon sisäpintaan. Lisätty mineraalivilla parantaa rakenteen lämpö- ja äänieristysominaisuuksia. Lisäksi se voi parantaa katon ja katon kiinnityksen palonkestävyyttä.

Esimerkiksi Ruukin perforoidun T153 AcuB 4/30 profiililevyn (perforointi perforointialueella 30 %, perforointi yhteensä ~15 %) käyttö parantaa rakenteen absorptioluokituksen B:stä parhaaseen A-luokkaan. Esimerkkejä akustisista lisärakenteista on esitetty kuvassa 7.



Kuva 7: Akustisena lisärakenteena voidaan käyttää mineraalivillaa, joka lisätään Ruukin perforoitujen kantavien poimulevyjen uriin äänenvaimennuksen parantamiseksi.

Akustisissa lisärakenteissa käytetty mineraalivilla voidaan valmistaa myös kierrätetystä mineraalivillahukasta, jota syntyy muiden mineraalivillatuotteiden tuotannossa. Näin voidaan vähentää mineraalivillajätteen määrää. Villahukasta valmistettujen akustisten lisärakenteiden käyttö on ympäristöystävällinen tapa parantaa katon ja rakennuksen ääniabsorptio-ominaisuuksia.

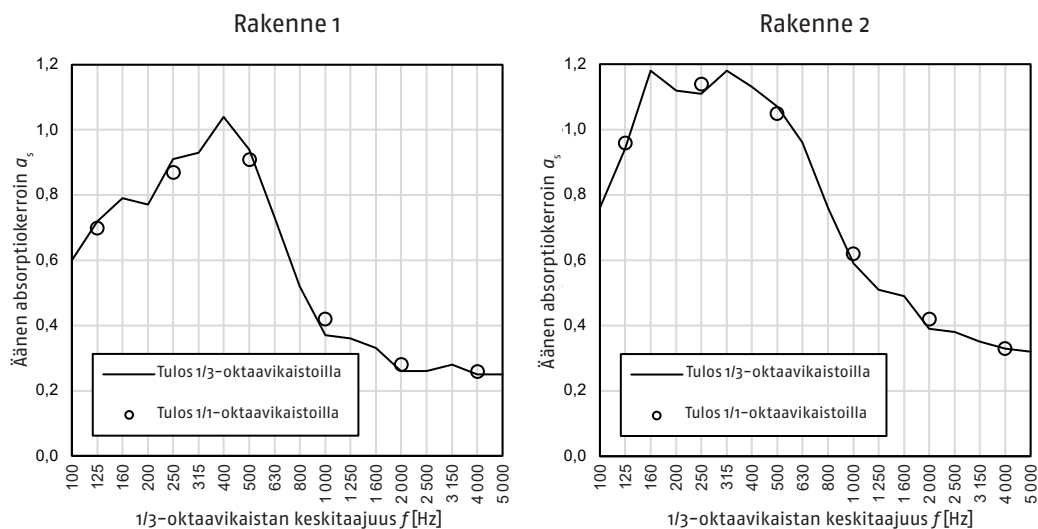
2.2 ÄÄNEN ABSORPTIOMITTAUKSET

Standardin ISO 354 mukaiset äänen absorptiomittaukset on tehty koekappaleiden sarjalle. Testatut rakenteet on kuvattu taulukossa 1.

Taulukko 1: Rakenteet, joissa äänen absorptio mitattiin.

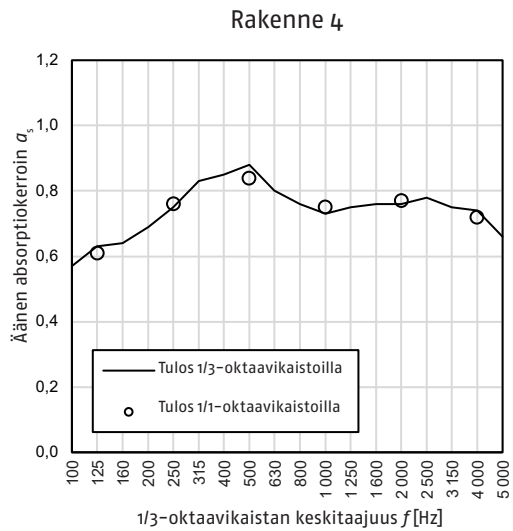
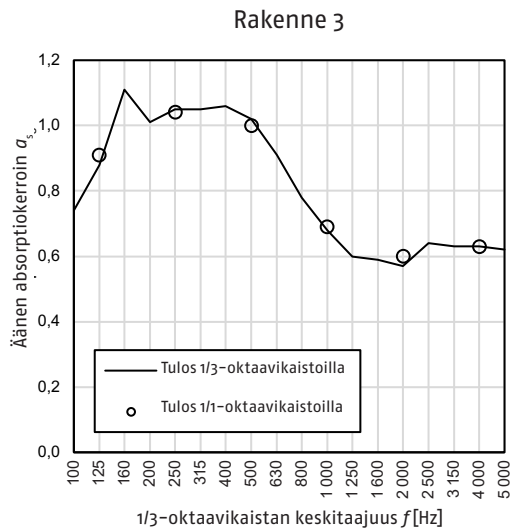
Taustarakenne:	Mineraalivilla (30 mm) + Höyrynsulku + Mineraalivilla (yhteensä 290 mm)	Äänen absorptioluokka (ISO 11654)	Painotettu absorptiokerroin α_w (ISO 11654)
Rakenne 1	T130M 3/15 (perforointi 15 %) + taustarakenne	D	0,35
Rakenne 2	T130M 3/15 (perforointi 15 %) + Kuitukangas + Akustinen lisärakenne + taustarakenne	D	0,45
Rakenne 3	T20 4/30 (perforointi 30 %) + Kuitukangas + T130M 3/15 (perforointi 15 %) + Kuitukangas + Akustinen lisärakenne + taustarakenne	C	0,70
Rakenne 4	T153 4/30 (perforointi 30 %) + taustarakenne	B	0,80
Rakenne 5	T153 4/30 (perforointi 30 %) + Kuitukangas + Akustinen lisärakenne + taustarakenne	A	0,90
Rakenne 6	T20 4/30 (perforointi 30 %) + Kuitukangas + T153 4/30 (perforointi 30 %) + Kuitukangas + Akustinen lisärakenne + taustarakenne	A	1,00

Rakenteisiin 3 ja 6 lisättiin Ruukin perforoitu T20-profiililevy. Kaikkien koekappaleiden äänen absorptiomittauksen tulokset on esitetty kuvissa 8–10. Lisäksi kaikkien rakenteiden käytännön absorptiokerroin α_p 1/1-oktaavikaistoilla on esitetty liittyvissä taulukoissa. Valokuva mittausjärjestelystä on esitetty kuvassa 11.



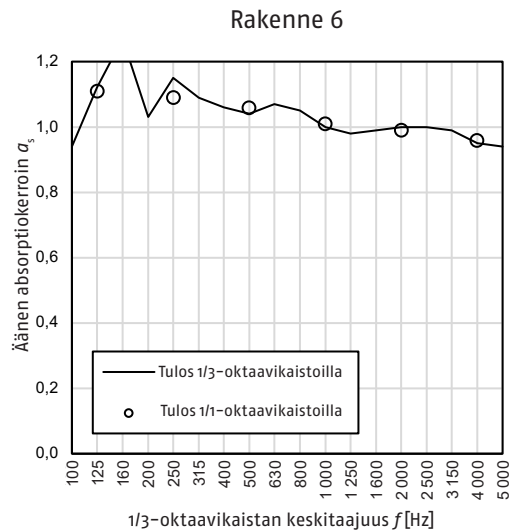
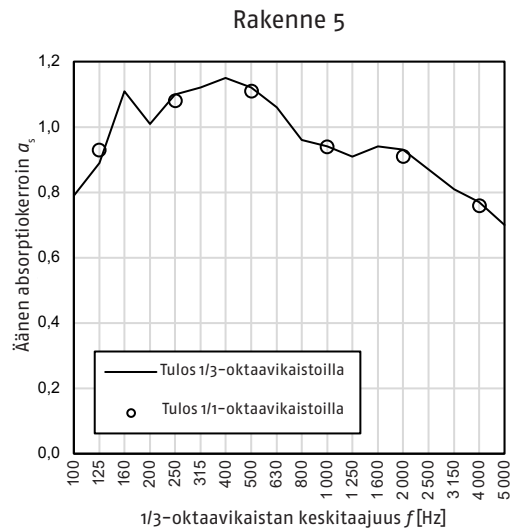
	f [Hz]	125	250	500	1 000	2 000	4 000	α_w
Rakenne 1	α_p	0,70	0,85	0,90	0,40	0,30	0,25	0,35
Rakenne 2	α_p	0,95	1,00	1,00	0,60	0,40	0,35	0,45

Kuva 8: Rakenteiden 1 ja 2 äänen absorptiokertoimet α_p ja α_w .



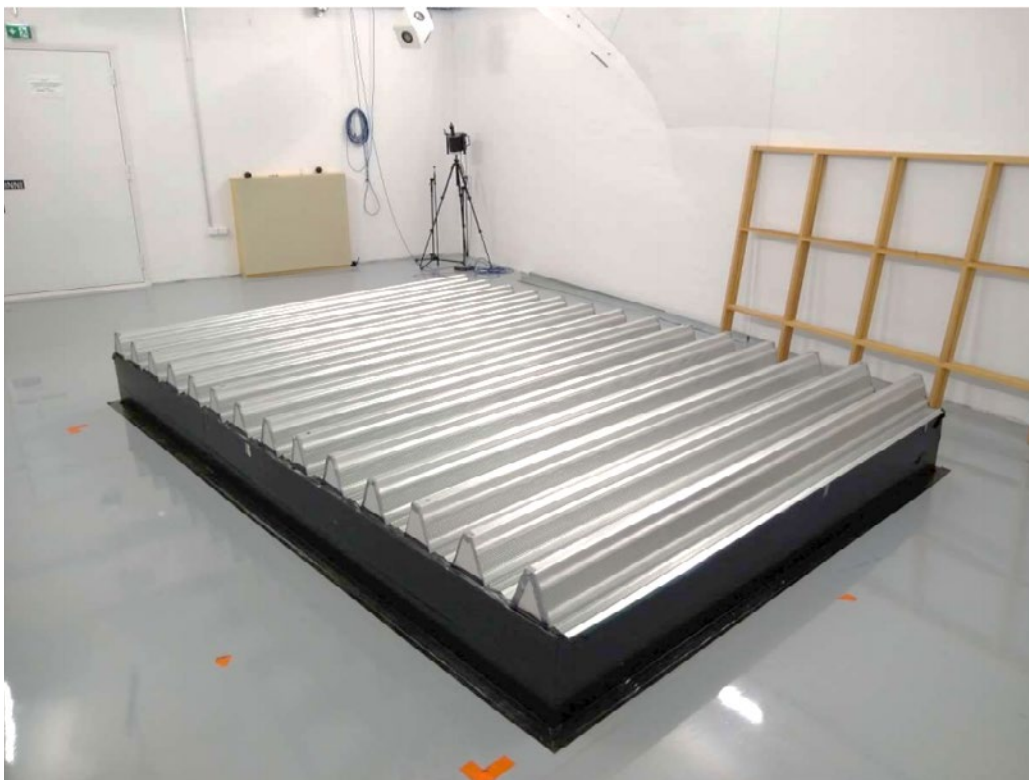
	f [Hz]	125	250	500	1 000	2 000	4 000	α_w
Rakenne 3	α_p	0,90	1,00	1,00	0,70	0,60	0,65	0,70
Rakenne 4	α_p	0,60	0,75	0,85	0,75	0,75	0,70	0,80

Kuva 9: Rakenteiden 3 ja 4 äänen absorptiokertoimet α_p ja α_w .



	f [Hz]	125	250	500	1 000	2 000	4 000	α_w
Rakenne 5	α_p	0,95	1,00	1,00	0,95	0,90	0,75	0,90
Rakenne 6	α_p	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,95	0,45

Kuva 10: Rakenteiden 5 ja 6 äänen absorptiokertoimet α_p ja α_w .



Kuva 11: Testijärjestelyt laboratoriossa äänen absorptiomittauksia varten ISO 354 -standardin mukaisesti. Kuvassa rakenne numero 5.

3 RUUKIN PROFIILILEVYTUOTTEIDEN KAAVIOT

Jäljempänä olevissa kuvissa 12–17 on esitetty ääntä vaimentavan materiaalin määrä, joka tarvitaan määritettyjen jälkikaiunta-aikojen $T_{saavuttamiseksi}$. Tarvittavan ääntä vaimentavan materiaalin määrä on esitetty prosenttiosuutena tilan kokonaispinta-alasta sekä huonekorkeuden funktiona. Vaaditut absorptioalat laskettiin jälkikaiunta-ajan arvo-alueelle, joka kattaa tavanomaiset vaatimukset jälkikaiunta-ajalle isoissa tiloissa, kuten urheiluhalleissa ja teollisuusrakennuksissa.

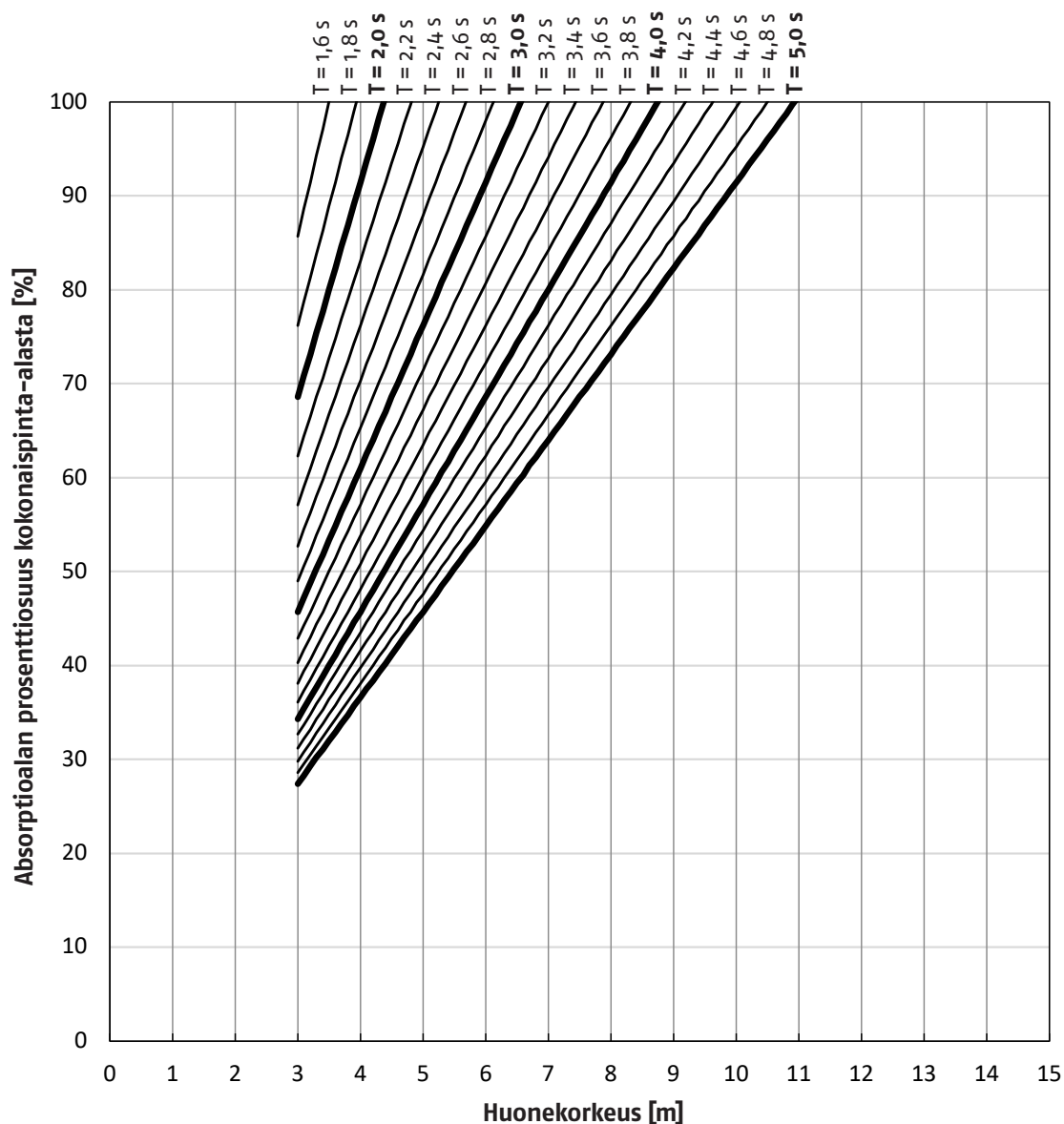
Arvot on laskettu käyttämällä Ruukin perforoitujen profiililevyjen painotettua absorptiokerrointa α_w . Arvot laskettiin oletuksella, ettei huoneessa ole muita ääntä vaimentavia pintoja. Todellisissa rakennuksissa on myös muita äänen vaimenemiseen vaikuttavia tekijöitä, kuten muita ääntä vaimentavia pintoja, huonekaluja, työpisteiden välisiä sermejä jne. Ääntä vaimentavan materiaalin tarve voi siten olla arvioitua hieman pienempi.

Jäljempänä esitetyt kaaviot on tarkoitettu ääntä vaimentavan materiaalin vaaditun määrän arviointiin. Asianmukaiset laskelmat jälkikaiunta-ajasta ja absorptioalasta tehdään käyttämällä absorptiokertoimen 1/1-oktaavikaistan arvoja.

Helppokäyttöinen web-sovellus hallityyppisen tilan jälkikaiunta-ajan arvioimiseen ja vertailemiseen on käytettävissä kotisivullamme osoitteessa www.ruukki.com/acoustic-estimator.

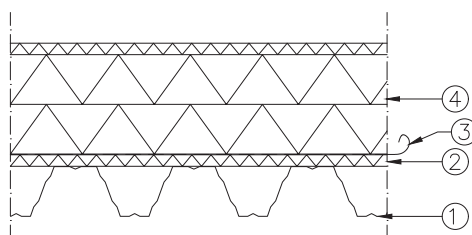
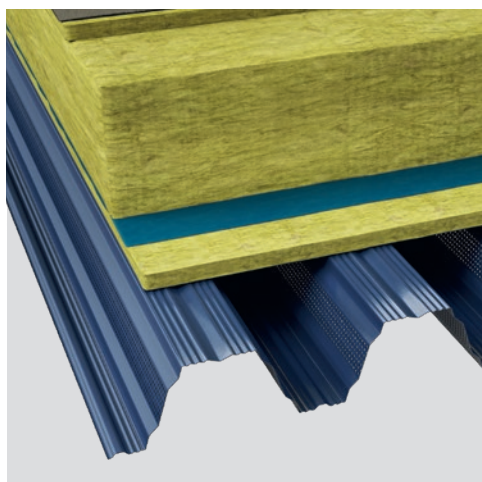
Sovelluksessa käsitellään yleisiä materiaaleja, kuten ääntä heijastavia raskaita ja keveitä pintoja ja Ruukin kantavia akustisia katto- ja verhoussratkaisuja seiniin ja sisäkattoihin. Laskelmassa korjataan ilman ominaisuuksista aiheutuvat vaikutukset, kuten suhteellisen kosteuden ja ilman lämpötilan vaikutukset.

Pintamateriaaleja voi olla useita ja laskelmassa on otettu ikkunat ja ovet huomioon. Käytettävissä on lisäksi yksi mukautettu materiaali, jonka äänenvaimennusarvot ovat muokattavia ja jota voidaan käyttää seinissä tai sisäkatossa. Arvio laaditaan rakennuksen seinä- ja kattoratkaisujen suunnittelun tarkoituksissa, jotta saadaan lähtökohta tilan jälkikaiunta-ajalle ja asetetun tavoitteen vertailulle. Laskelmassa lattia on oletuksen mukaan kova ja ääntä heijastava – kalusteita tai muita mahdollisia ääntä vaimentavia materiaaleja tilan pohjapiirustuksessa ei oteta huomioon.



Ruukki T130M 3/15 (uumaperforoitu)

Äänen absorptioluokka D, α_w 0,35

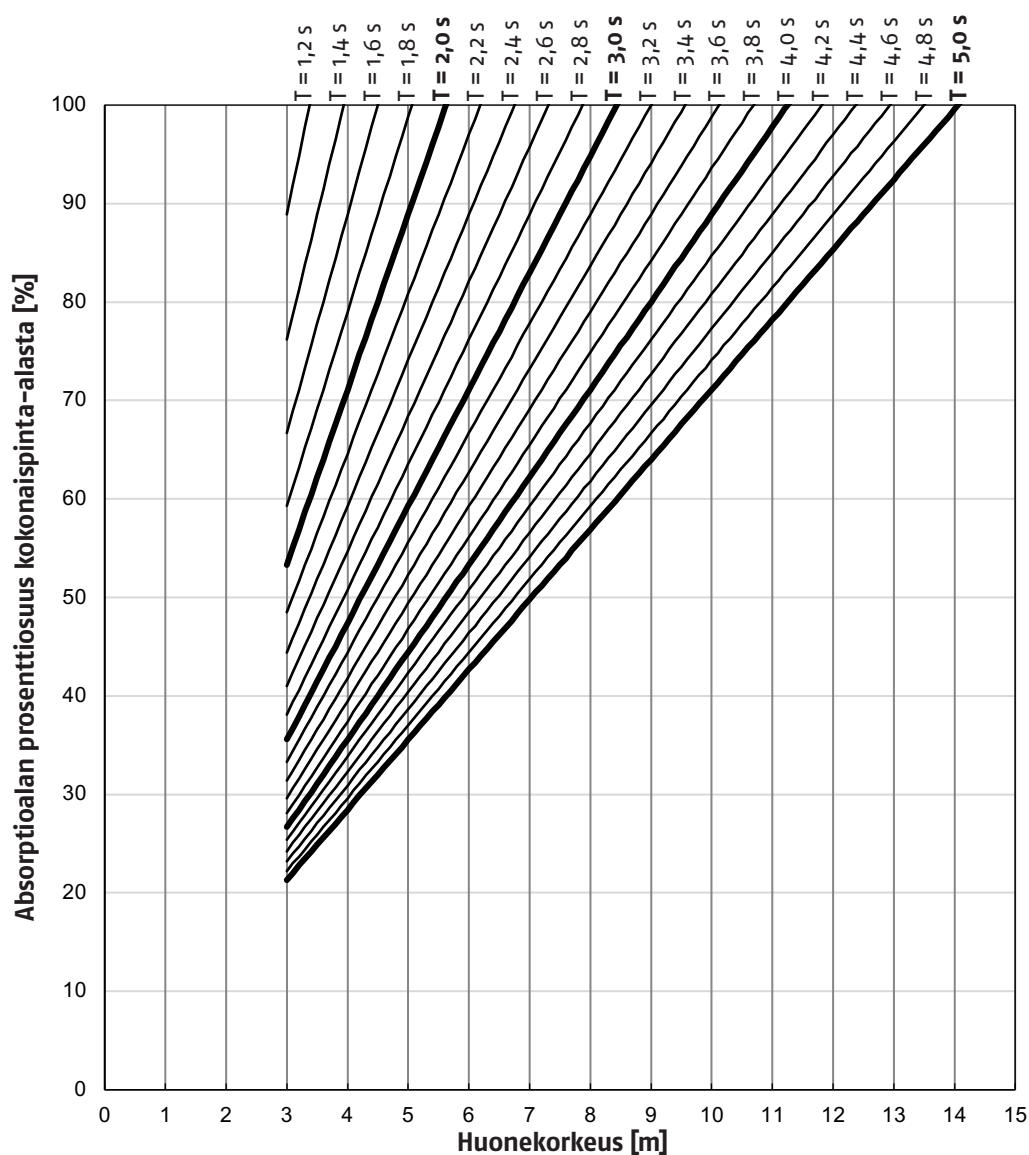


1. T130M 3/15 (perforointi 15 %)
2. Mineraalivilla (30 mm)
3. Höyrynsulku
4. Mineraalivilla (yhteensä 290)

Äänen absorptioarvot, kun eristeen paksuus on 130–400 mm

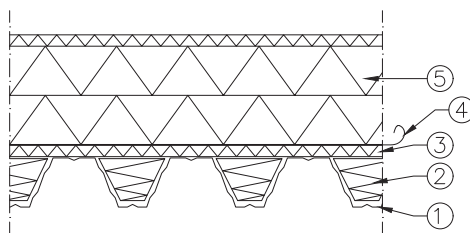
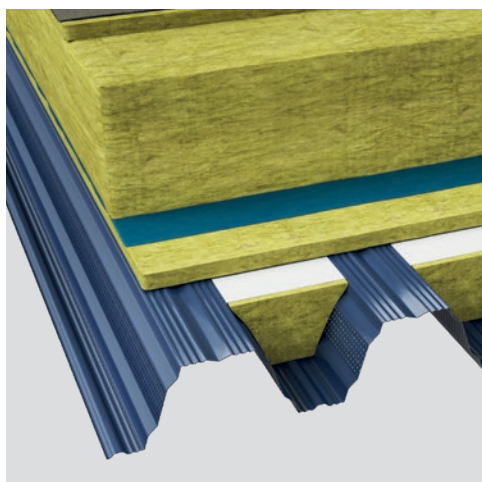
T130M 3/15% Luokka D, α_w 0,35			
f(Hz)	α_s 1/3	α_i 1/1	α_p 1/1
100	0,60		
125	0,72		
160	0,79	0,70	0,70
200	0,77		
250	0,91	0,87	0,85
315	0,93		
400	1,04		
500	0,94	0,91	0,90
630	0,73		
800	0,52		
1 000	0,37	0,42	0,40
1 250	0,36		
1 600	0,33		
2 000	0,26	0,28	0,30
2 500	0,26		
3 150	0,28		
4 000	0,25	0,26	0,25
5 000	0,25		

Kuva 12. Rakenne 1, ääntä vaimentavan materiaalin tarve huonekorkeuden funktiona.



Ruukki T130M 3/15 (uumaperforointi) + akustinen lisärakenne

Äänen absorptioluokka D, α_w 0,45

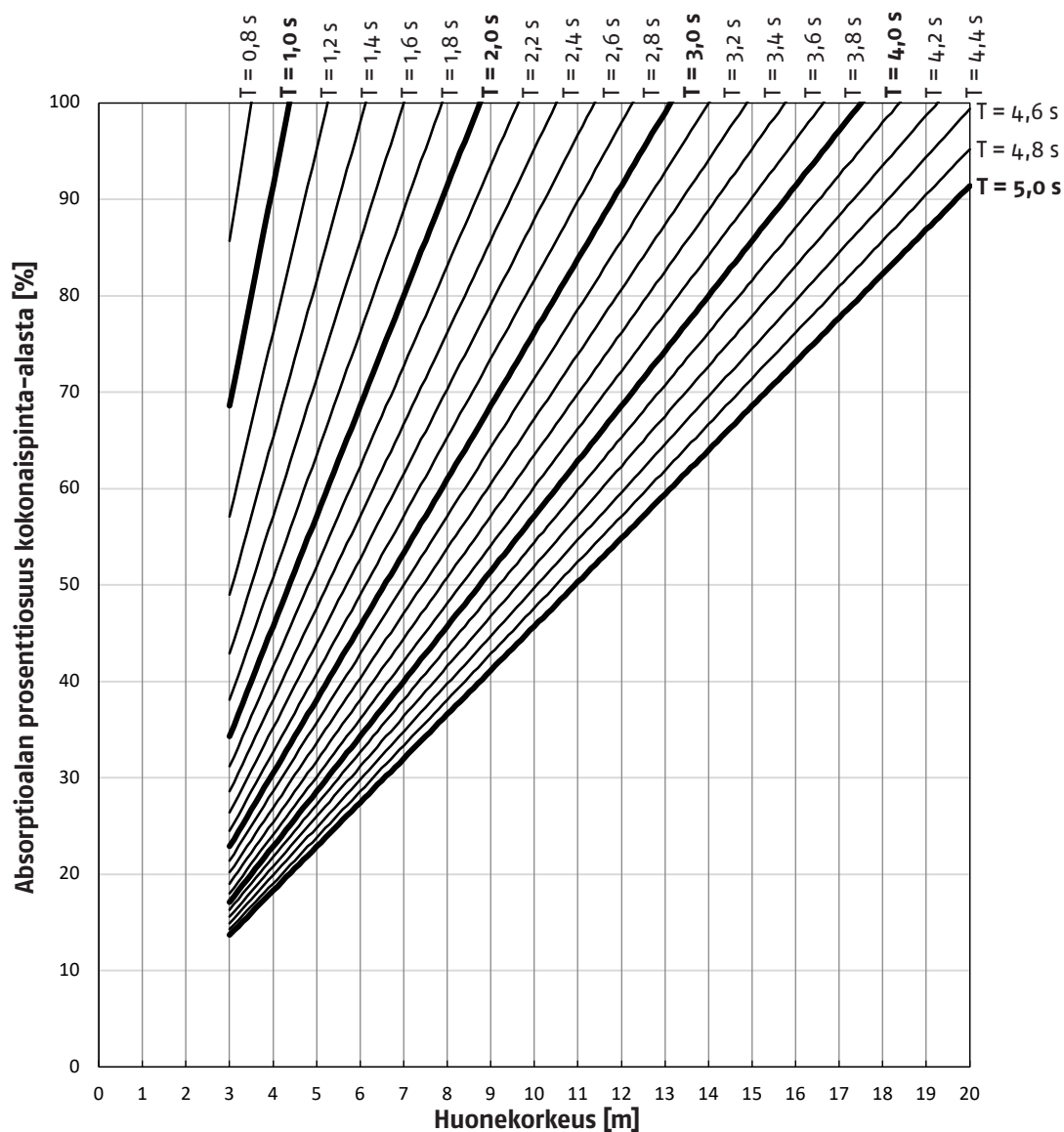


1. T130M 3/15 (perforointi 15 %)
2. Pölytiivis akustinen lisärakenne
3. Mineraalivilla (30 mm)
4. Höyrynsulku
5. Mineraalivilla (yhteensä 290)

Äänen absorptioarvot, kun eristeen paksuus on 130–400 mm

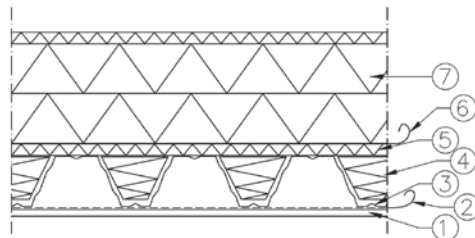
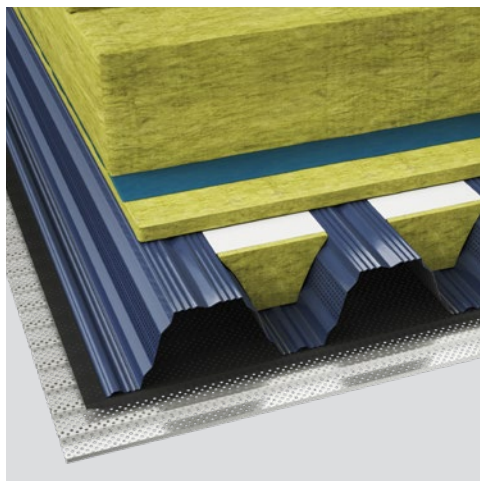
T130M 3/15% Luokka D, α_w 0,45 akustinen lisärakenne			
f(Hz)	α_s 1/3	α_s 1/1	α_p 1/1
100	0,76		
125	0,94		
160	1,18		
200	1,12		
250	1,11	1,14	1,00
315	1,18		
400	1,13		
500	1,07	1,05	1,00
630	0,96		
800	0,76		
1 000	0,59	0,62	0,60
1 250	0,51		
1 600	0,49		
2 000	0,36	0,42	0,40
2 500	0,38		
3 150	0,35		
4 000	0,33	0,33	0,35
5 000	0,32		

Kuva 13: Rakenne 2, ääntä vaimentavan materiaalin tarve huonekorkeuden funktiona.



**Ruukki T130M 3/15 (uumaperforointi) + akustinen lisärakenne
+Ruukki T20 3/30 -profiililevy, jossa kevyt kuitukangaskerros**

Äänen absorptioluokka C, α_w 0,70



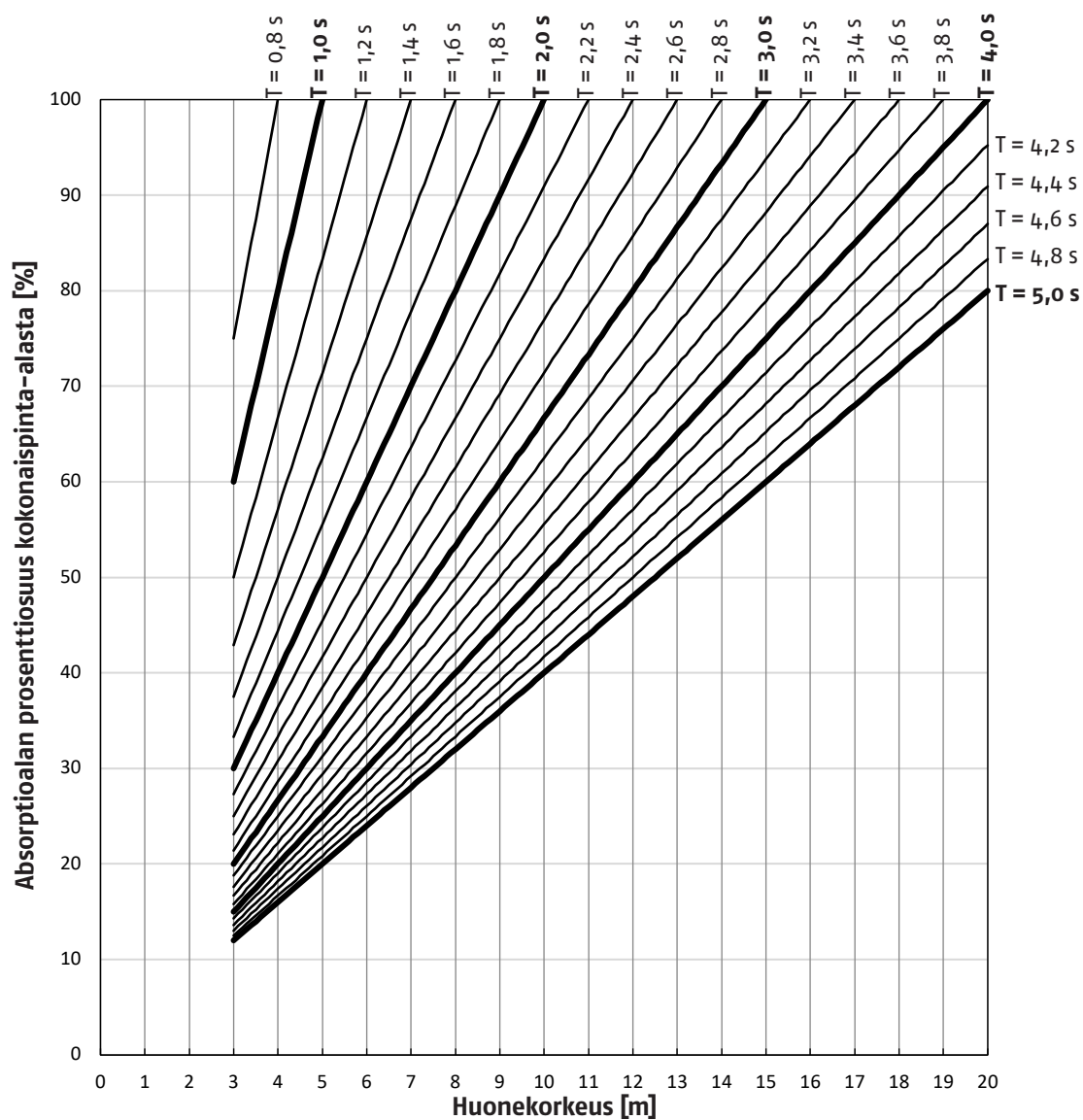
1. T20 (perforointi 30 %)
2. Kuitukangas
3. T130M (perforointi 15 %)
4. Pölytiivis akustinen lisärakenne
5. Mineraalivilla (30 mm)
6. Höyrynsulku
7. Mineraalivilla (yhteensä 290)

Äänen absorptioarvot, kun eristeen paksuus on 130–400 mm

T130M 3/15%
Luokka C, α_w 0,70
akustinen lisärakenne, ohut kangas
ja perforoitu T20 3/30 näkyvälle
pinnalle

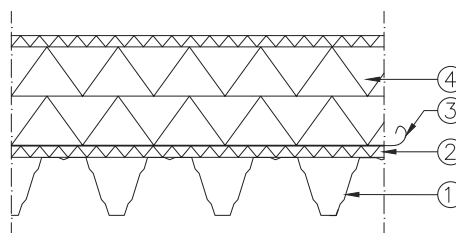
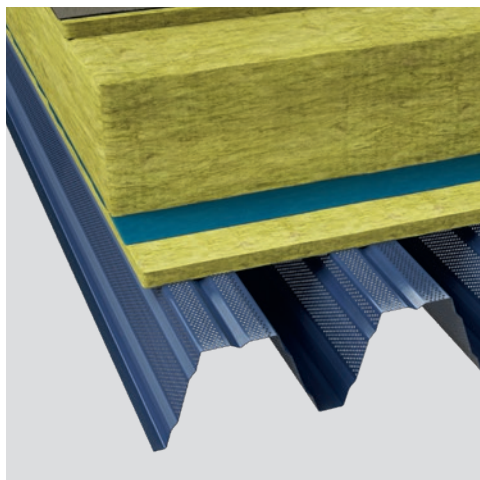
f(Hz)	α_s 1/3	α_s 1/1	α_p 1/1
100	0,74		
125	0,88		
160	1,11		
200	1,01		
250	1,05	1,04	1,00
315	1,05		
400	1,06		
500	1,02	1,00	1,00
630	0,91		
800	0,78		
1 000	0,68	0,69	0,70
1 250	0,60		
1 600	0,59		
2 000	0,57	0,60	0,60
2 500	0,64		
3 150	0,63		
4 000	0,63	0,63	0,65
5 000	0,62		

Kuva 14: Rakenne 3, ääntä vaimentavan materiaalin tarve huonekorkeuden funktiona.



Ruukki LBS T153 4/30 (uuma- ja laippaperforointi)

Äänen absorptioluokka B, α_w 0,8



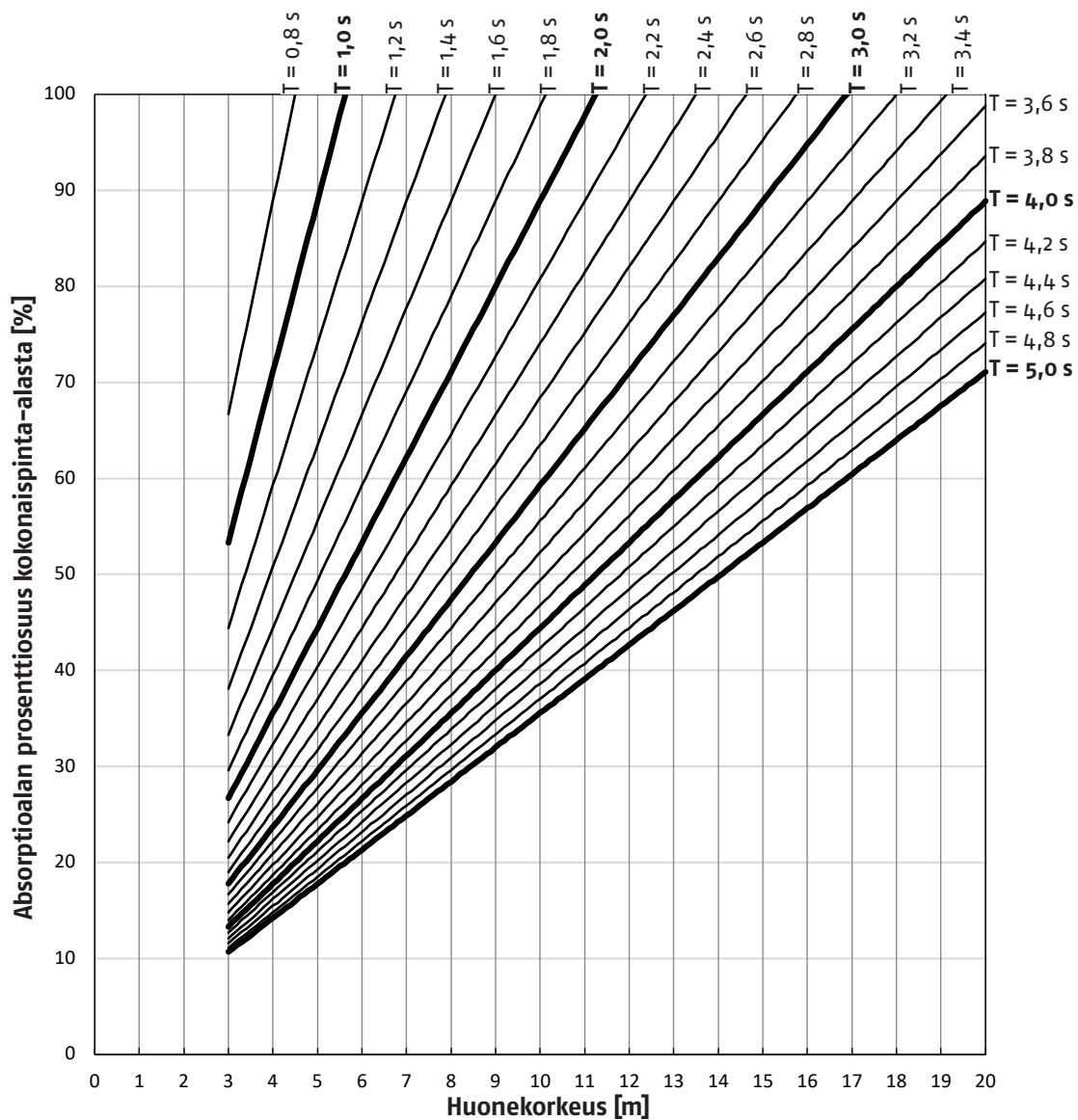
1. T153 (perforointi 30 %)
2. Mineraalivilla (30 mm)
3. Höyrynsulku
4. Mineraalivilla (yhteensä 290)

Äänen absorptioarvot, kun eristeen paksuus on 130–400 mm

T153 4/30%
Äänen absorptioluokka B, α_w 0,80
ilman akustista lisärakennetta

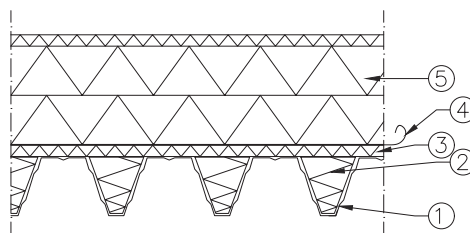
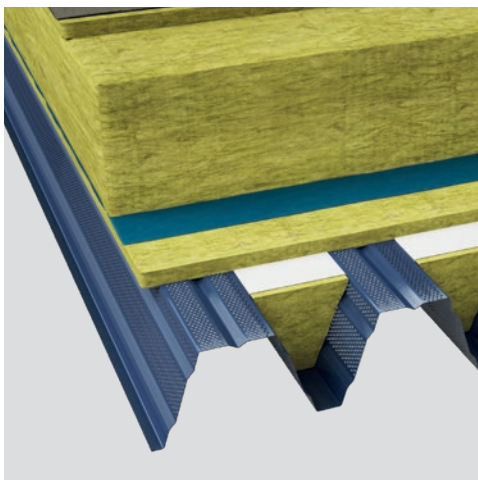
f(Hz)	α_s 1/3	α_s 1/1	α_p 1/1
100	0,57		
125	0,63		
160	0,64		
200	0,69		
250	0,75	0,76	0,75
315	0,83		
400	0,85		
500	0,88	0,84	0,85
630	0,80		
800	0,76		
1 000	0,73	0,75	0,75
1 250	0,75		
1 600	0,76		
2 000	0,76	0,77	0,75
2 500	0,78		
3 150	0,75		
4 000	0,74	0,72	0,70
5 000	0,66		

Kuva 15: Rakenne 4, ääntä vaimentavan materiaalin tarve huonekorkeuden funktiona.



Ruukki LBS T153 4/30 (uuma- ja laippaperforointi) + akustinen lisärakenne

Äänen absorptioluokka A, α_w 0,9

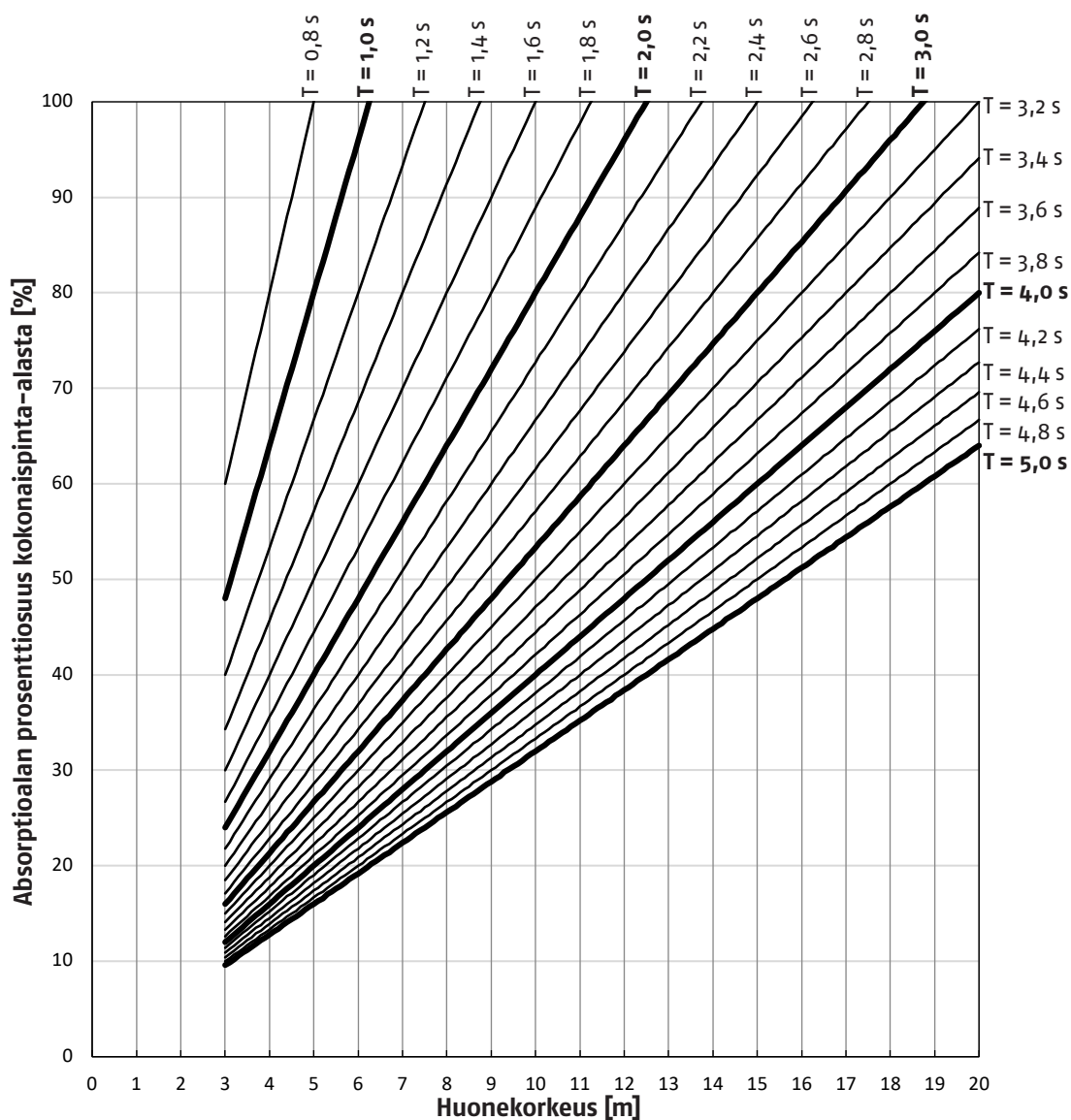


1. T153 (perforointi 30 %)
2. Pölytiivis akustinen lisärakenne
3. Mineraalivilla (30 mm)
4. Höyrynsulku
5. Mineraalivilla (yhteensä 290)

Äänen absorptioarvot, kun eristeen paksuus on 130–400 mm

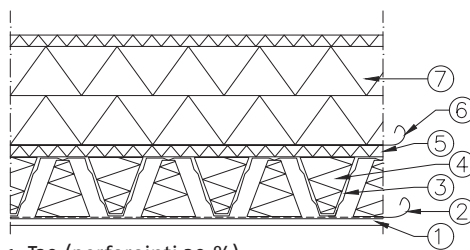
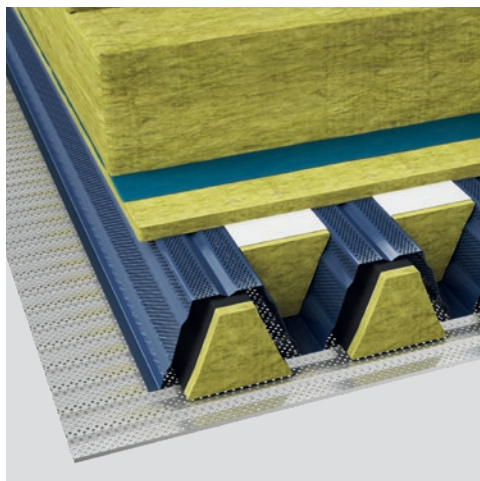
T153 4/30% Äänen absorptioluokka A, α_w 0,90 akustinen lisärakenne			
f(Hz)	α_s 1/3	α_s 1/1	α_p 1/1
100	0,79		
125	0,89		
160	1,11		
200	1,01		
250	1,10	1,08	1,00
315	1,12		
400	1,15		
500	1,12	1,11	1,00
630	1,06		
800	0,96		
1 000	0,94	0,94	0,95
1 250	0,91		
1 600	0,94		
2 000	0,93	0,91	0,90
2 500	0,87		
3 150	0,81		
4 000	0,77	0,76	0,75
5 000	0,70		

Kuva 16: Rakenne 5, ääntä vaimentavan materiaalin tarve huonekorkeuden funktiona.



**Ruukki LBS T153 4/30 (uuma- ja laippaperforointi) + akustiset lisärakenteet
+Ruukki T20 3/30 -profiililevy, jossa kevyt kuitukangaskerros**

Äänen absorptioluokka A, α_w 1,00



1. T20 (perforointi 30 %)
2. Kuitukangas
3. T153 4/30 (perforointi 30 %)
4. Pölytiivis akustinen lisärakenne
5. Mineraalivilla (30 mm)
6. Höyrynsulku
7. Mineraalivilla (yhteensä 290)

Äänen absorptioarvot, kun eristeen paksuus on 130–400 mm

T153 4/30%
Absorptioluokka A, α_w 1,00
Molemmat akustiset lisärakenteet, ohut pölytiivis kangas ja täysin perforoitu T20 3/30 näkyvälle pinnalle.

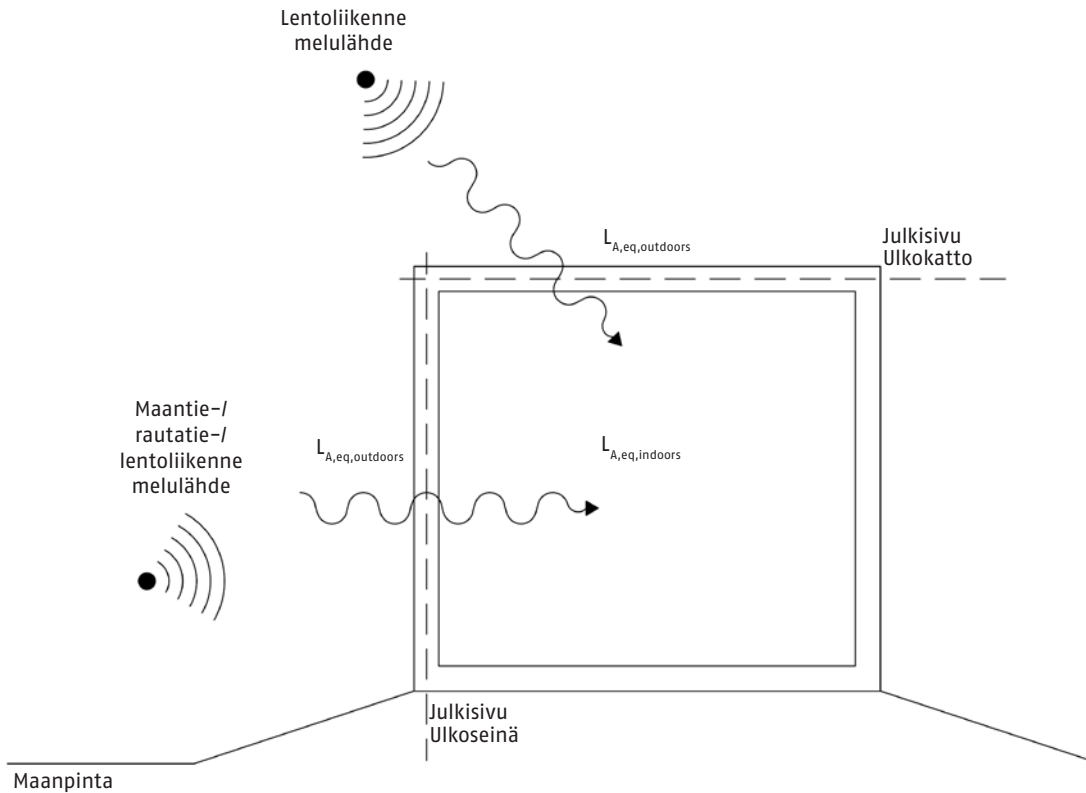
f(Hz)	α_s 1/3	α_s 1/1	α_p 1/1
100	0,94		
125	1,12	1,11	1,00
160	1,27		
200	1,03		
250	1,15	1,09	1,00
315	1,09		
400	1,06		
500	1,04	1,06	1,00
630	1,07		
800	1,05		
1000	1,00	1,01	1,00
1250	0,98		
1600	0,99		
2000	1,00	0,99	1,00
2500	1,00		
3150	0,99		
4000	0,95	0,96	0,95
5000	0,94		

Kuva 17: Rakenne 6, ääntä vaimentavan materiaalin tarve huonekorkeuden funktiona.

Osa II

RAKENNUKSEN JULKISIVUN ILMAÄÄNIERISTYS

Liikenteestä aiheutuvalla melulla voi olla useita haitallisia vaikutuksia terveyteen, kuten unen laadun heikkeneminen, verenpaineen nousu ja kognitiivisten kykyjen heikkeneminen. Liikennemelun lähteenä ovat ulkona liikkuvat ajoneuvot. Näin syntyvä ääni etenee ilman halki rakennuksen julkisivuun ja julkisivun läpi vastaanottavaan sisätilaan. Liikennemelun lähteenä ovat maantie-, rautatie- ja lentoliikenne. Liikennemelun eteneminen ulkoa sisätiloihin on esitetty kuvassa 1.



Kuva 1: Liikennemelun eteneminen ulkoa sisätiloihin.

Kaksi yleisintä melutyyppiä, joihin on kiinnitettävä huomiota, ovat tie- ja rautatieliikenteestä aiheutuva melu. Lentoliikenteestä aiheutuva melu on tärkeää lähinnä lentokenttien läheisyydessä. Yhtä suurilla äänenpainetasoilla lentoliikennettä pidetään kuitenkin yleensä muita häiritsevämpänä, koska äänilähde on vaikea paikantaa ja melu kestää lyhyen aikaa. Lentoliikenteen tapaan myös rautatieliikenteestä aiheutuva melu on lyhytkestoista. Säännölliset juna-aikataulut ja junien hyvänä pidetty turvallisuus tekevät rautatieliikenteestä aiheutuvasta melusta kuitenkin vähemmän häiritsevää kuin lentoliikenteen melusta. Tieliikennettä pidetään näistä kolmesta vähiten häiritsevänä sen jatkuvan luonteen vuoksi. Tieliikenteestä aiheutuvaan meluun vaikuttavat ajoneuvojen nopeus ja ajokeli. Kylmissä olosuhteissa talvirenkaat lisäävät ohittavista autoista lähtevän melun määrää.

Julkisivun äänieristyksellä melua voidaan estää siirtymästä ulkoa julkisivun kautta sisälle. Kansallisissa rakennusmääräyksissä rakennusten julkisivujen äänieristystä säännellään ulkoa kantautuvasta melusta aiheutuvien terveyshaittojen vähentämiseksi. Vaatimukset perustuvat yleensä ulkotilojen melutasoon alueella ja rakennustyyppiin. Esimerkiksi asuinrakennuksen ja toimistotilan julkisivun äänieristysvaatimukset voivat poiketa toisistaan.

Tie- tai rautatieliikenteestä aiheutuvan melun arvioimiseen on käytettävissä useita laskentamenetelmiä, kuten Pohjoismaissa käytetty Nordic prediction method -ennustemalli. Liikennemelun tasot voidaan myös mitata, mutta mittaukset ovat yleensä laajuudeltaan rajallisia ja rajoittuvat yksittäisiin mittauspisteisiin. Laskentamalleja soveltamalla liikennemelun taso voidaan määrittää samanaikaisesti laajalla alueella.

Julkisivujen äänieristysvaatimuksissa Euroopassa on yleensä otettu huomioon rakennuksen rakenteiden toiminta joko suoraan tai välillisesti määrittämällä suurin sallittu melutaso sisätiloissa. Julkisivujen äänieristykseen Euroopassa sovelletut eri mittaustavat on esitetty taulukossa 1. Suorassa mittaustavassa ohjearvo voidaan antaa rakennuksen elementtien ilmaäänieristyksen R_w [dB] tai näennäisen ilmaäänieristyksen R'_w [dB] perusteella tai vaihtoehtoisesti julkisivun standardoidun melutason eron $D_{2m,nT,w}$ [dB] perusteella. Lisäksi voidaan käyttää he spektrin adaptaatiolausekkeita C [dB] ja C_{tr} [dB] standardin EN ISO 717-1 mukaisesti. Spektrin adaptaatiolausekkeissa C_{tr} otetaan huomioon kaupunkiliikenteestä aiheutuvan melun koko spektri, kun taas spektrin adaptaatiolausekkeissa C keskitytään lento- ja rautatieliikenteestä aiheutuvaan meluun.

Taulukko 1: Erilaiset Euroopassa käytetyt julkisivujen äänieristysvaatimukset [1].

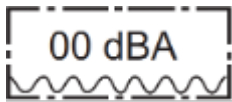
Vaatimuksen tyyppi	Mitattu määrä
Suora: vaatimus julkisivun suorituskyvystä	$D_{2m,nT,w}$ $D_{2m,nT,w} + C_{tr}$ R_w rakennuksen elementit R'_w rakennuksen elementit
Välillinen: vaatimus melutasosta sisätiloissa	$L_{A,eq}$ päivä ja yö L_{den} $L_{pA,24h}$ $L_{pA,Fmax}$

Julkisivujen äänieristykselle voidaan asettaa myös välillinen vaatimus. Esimerkiksi Suomessa vaatimukset perustuvat liikenteestä aiheutuvaan suurimpaan sallittuun äänitasoon sisätiloissa $L_{A,eq,indoors}$ [dB]. *Julkisivun äänieristyksen vaatimus määritetään sisätilojen melutason ohjearvon $L_{A,eq,indoors}$ perusteella ja esitetään A-painotetun ekvivalenttitason eron $\Delta L_{A,eq}$ [dB] muodossa*

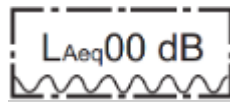
$$\Delta L_{A,eq} = L_{A,eq,outdoors} - L_{A,eq,indoors}$$

joka kuvastaa ulko- ja sisätilojen melutasojen A-painotettujen ekvivalenttitasojen eroa. Ulkotilojen melutasossa $L_{A,eq,outdoor}$ [dB] otetaan huomioon äänen heijastuminen julkisivusta. Heijastus lisää ulkotilojen äänitasoa julkisivun pinnalla 3 dB. Ulkotilojen äänitasosta vähennetään sen vuoksi 3 dB, kun vaadittu tasoero $\Delta L_{A,eq}$ määritetään. Ulkotilojen melutaso määritetään joko mittaamalla liikennemelu tai soveltamalla laskentamallia, kuten Pohjoismaissa käytettyä Nordic prediction method -ennustemallia.

Suomessa suurin sallittu liikenteestä sisätiloihin kantautuvan melun tason asuinrakennuksissa ja sairaaloissa on $L_{A,eq,indoors} = 35$ dB päiväaikaan (7–22) ja $L_{A,eq,indoors} = 30$ dB yöaikaan (22–7). Liike- ja toimistotiloissa ohjearvo on $L_{A,eq,indoors} = 45$ dB vuorokauden kaikkina kellonaikoina. Julkisivun äänieristyksen ohjearvo esitetään tavallisesti julkisivun melutason vaadittuna tasoerona $\Delta L_{A,eq}$ (kuva 2a). Kaikkien julkisivujen ohjearvo esitetään rakennuskaavassa. Suomessa asuinrakennusten julkisivun melutason vaadittu tasoero on tavallisesti alueella $\Delta L_{A,eq} = 30\ldots 35$ dB. Toisinaan tasoeron suoran määrittämisen sijasta määritetään ulkotilojen melutaso $L_{A,eq,outdoor}$, jonka perusteella lasketaan vaadittu julkisivun äänieristyksen arvo (kuva 2b).



a)



b)

Kuva 2: Julkisivun äänieristystä koskevat vaatimukset rakennuskaavoituksessa Suomessa.

a) vaadittu melutason ero $\Delta L_{A,eq}$ julkisivussa.

b) ulkotilojen melutaso, jota voidaan käyttää vaaditun tasoeron määrittämisessä.

Julkisivun äänieristysvaatimuksen esitystapaan vaikuttaa se, onko rakennuksen käyttötarkoitus tiedossa. Jos esimerkiksi tiedetään, että kyseessä on asuinrakennus, myös sisätilojen melutason ohjearvo on tiedossa. Tällaisessa tapauksessa vaatimus esitetään kuvan 2a mukaisesti. Jos puolestaan ei ole tiedossa, käytetäänkö rakennusta asuntona, toimistona, opetustilana tms., ulkotilojen melutason ohjearvo esitetään kuvan 2b mukaisesti. Julkisivun äänieristysvaatimus voidaan siten määrittää myöhemmin.

Rakennuksen julkisivun ilmääänieristys perustuu ulkoseinärakenteen ilmääänieristykseen. Myös kaikki muut julkisivun rakennuselementit vaikuttavat kokonaissäänieristykseen. Ulkoseinärakenteen lisäksi on tärkeää ottaa huomioon ikkunoiden, parvekkeen ovien ja muiden elementtien vaikutus julkisivun kokonaissäänieristykseen.

Lisäksi tilan akustiset olosuhteet vaikuttavat julkisivun ilmääänieristykseen ja sisätilojen melutasoon. Huoneakustiikan laatua voidaan kuvata käyttämällä jälkikaiunta-aikaa T [s], kun äänikenttä tilassa on diffuusi tai lähes diffuusi. Jälkikaiunta-aika T on suhteessa tilan absorptioalaan A [m²]. Absorptioala kuvastaa ääntä vaimentavien materiaalien kokonaismäärää tilassa. Toinen tärkeä huoneakustiikan parametri on huoneen äänitason vaimeneminen D [dB]. Samoin kuin jälkikaiunta-aikaan T , myös siihen vaikuttaa huoneen kokonaisabsorptioala. Huoneen äänitason vaimeneminen D ilmaisee äänilähteen huoneessa tuottaman äänitason heikentymisen. Kun huoneen absorptioala A suurennetaan, jälkikaiunta-aika T lyhenee ja äänitason vaimeneminen D tehostuu, minkä tuloksena äänitaso laskee huoneessa.

Jälkikaiunta-aikaa T ja huoneen äänitason vaimenemista D käytetään kuvastamaan tilan akustista laatua silloin, kun äänikenttä on diffuusi. Tiloissa, joissa äänikenttä ei ole diffuusi, äänitason spatiaalinen vaihtelu on paljon suurempaa. Jälkikaiunta-aika ja äänitason vaimeneminen eivät silloin kuvasta yhtä hyvin huoneakustiikan laatua. Äänikenttä on tyypillisesti ei-diffuusi erittäin isoissa tiloissa, joissa on paljon ääntä vaimentavia materiaaleja tai paljon huonekaluja tai esteitä äänen etenemisreitillä. Tällaisissa tiloissa voi olla tarkoituksenmukaisempaa käyttää muita asioita huoneakustiikan laadun kuvaamisessa, kuten äänen etenemisvaimennus D_2 [dB]. Äänen etenemisvaimennus kuvastaa äänenpainetasen muutosta, kun etäisyys äänilähteestä kaksinkertaistuu.

Julkisivun äänieristys voidaan mitata standardin EN ISO 16283-3 mukaan. Mittaus voidaan tehdä käyttämällä äänilähteenä joko kaiutinta tai liikennemelua. Julkisivun äänieristystä voidaan arvioida myös soveltamalla laskentamalleja. Suomessa kansalliset rakennusmääräykset eivät edellytä tietyn laskentamallin käyttöä. Suomessa on tällä hetkellä käytössä kolme laskentamallia julkisivun äänieristyksen määrittämiseen:

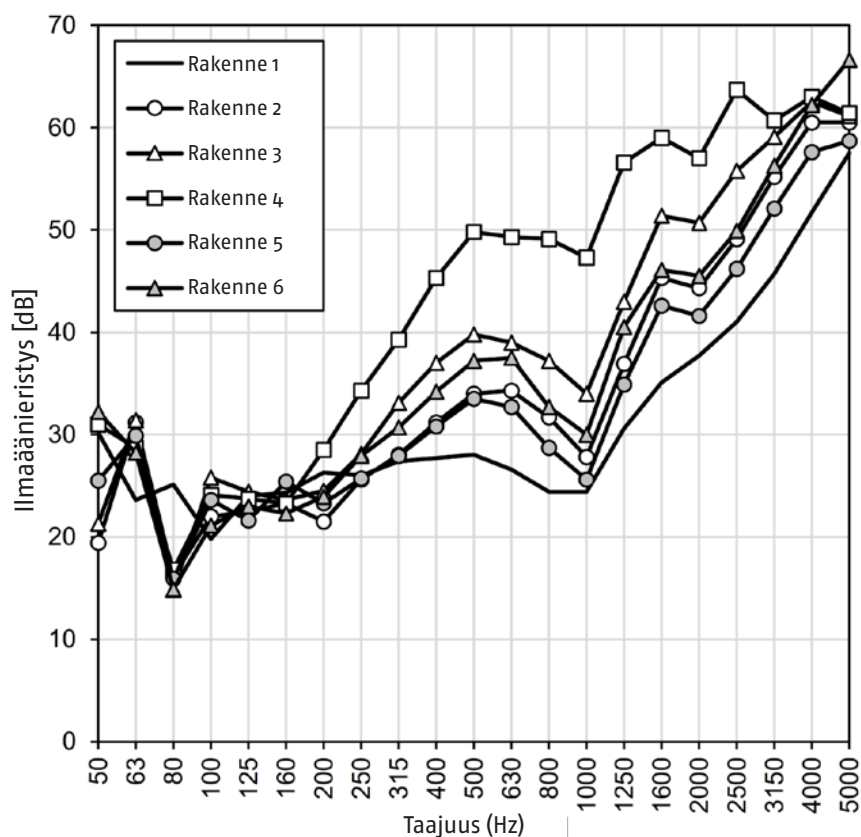
- Standardiin EN ISO 12354-3 perustuva laskentamalli, jossa koko julkisivun äänieristys määritetään rakennuselementtien äänieristyskyvyn perusteella.
- Rakennusohjeisiin RIL 243-1 perustuva laskentamalli, jossa rakennuksen eri elementtien melutasojen ero ulkona ja sisällä yhdistetään.
- Ympäristöoppaaseen 108 perustuva laskentamalli, jonka VTT on kehittänyt. Mallin avulla rakennuksen eri elementeille voidaan määrittää vaaditut ilmääänieristyksen indeksit suhteessa liikennemeluun $R_w + C_{tr}$, kun julkisivulta vaadittu melun A-painotettu ekvivalenttitason ero $\Delta L_{A,eq}$ tunnetaan. Tämä laskentamalli perustuu löyhästi standardin ISO 12354-3 mukaiseen malliin.

Tässä oppaassa käytetään RIL 243-1 -laskentamallin muutettua versiota tasoeron ΔL laskemiseen. Laskentamallia on muutettu siten, että vastaanottavan tilan absorptioala A [m²] voidaan ottaa huomioon julkisivun äänitason eroa laskettaessa.

4 RUUKIN AKUSTISTEN SPA-ELEMENTTIEN ILMAÄÄNIERISTYS

Ruukin perforoituja profililevyjä, kuten Ruukki Design Tokyo S18 -profililevyä, voidaan käyttää julkisivumateriaalina tai sisäverhouksena. Perforoituja profililevyjä voidaan käyttää myös yhdessä Ruukin sandwich-paneelielementtien SPA kanssa parantamaan sandwich-seinärakenteen ilmaäänieristystä. Perforoidut profililevyt toimivat lisäksi akustisina ääntä vaimentavina elementteinä, mikä lyhentää jälkikaiunta-aikaa ja laskee sisätilojen melutasoa.

Ruukin SPA 150 E -sandwich-seinäelementin ääntä vaimentavan verhouksen vaikutus ilmaäänieristykseen on esitetty kuvassa 3.



Rakenne	Rakennekerrokset	R_w [dB]	$R_w + C_{tr}$ [dB]
1	Ruukki SPA 150E ($m' = 27,4 \text{ kg/m}^2$)	30	27
2	Ruukki Design Tokyo S18 30 % perforointi Paroc Extra F 50 mm Ruukki SPA 150E ($m' = 27,4 \text{ kg/m}^2$)	35	30
3	Ruukki Design Tokyo S18 30 % perforointi Paroc Extra F 100 mm Ruukki SPA 150E ($m' = 27,4 \text{ kg/m}^2$)	39	34
4	Ruukki Design Tokyo S18 30 % perforointi Paroc Extra F 100 mm SPA 150E ($m' = 27,4 \text{ kg/m}^2$) Paroc Extra F 100 mm Ruukki Design Tokyo S18 30 % perforointi	45	37
5	Parafon Buller RPG (85 % Coverage) 50 mm Ruukki SPA 150E ($m' = 27,4 \text{ kg/m}^2$)	34	29
6	Parafon Buller RPG (85 % Coverage) 50 mm Ruukki SPA 150E ($m' = 27,4 \text{ kg/m}^2$) Parafon Buller RPG (85 % Coverage) 50 mm	37	32

Kuva 3: Ruukki SPA E 150 -sandwich-paneelin, joka on verhoiltu eri tavoin ääntä vaimentavalla materiaalilla, ilmaäänieristysten mittaukset.

Kuvassa 3 esitetyllä tavalla Ruukki SPA 150E –sandwich–paneelin ilmaäänieristystä voidaan parantaa lisäämällä paneelin pinnalle ääntä vaimentavia materiaalikerroksia. Yksittäinen SPA 150E –elementti voi saavuttaa jopa ilmaäänieristysindeksin R_w 45 dB, kun paneelin molemmat puolet verhotaan.

Parannettu ilmaäänieristys auttaa vähentämään ulkoa sisään kantautuvaa melua ja päinvastoin sekä melua rakennuksen sisätiloissa, jos väliseiniin asennetaan lisäkerroksia. Lisäksi SPA-elementtiin asennettu perforoitu levy, jossa on mineraalivillatausta, vaimentaa ääntä, mikä lyhentää jälkikaiunta-aikaa ja parantaa äänitason vaimentumista tilassa. Tiloissa, joissa äänikenttä on ei-diffuusi, lisätty äänen vaimennus parantaa äänen etenemisvaimennusta D_2 .

5 JULKISIVUN ÄÄNIERISTYS RUUKIN TUOTTEILLA

Ruukin SPA-elementtien soveltuvuuden ja perforoitujen Ruukki Design Tokyo S18 –profiililevyn vaikutuksen osoittamiseksi julkisivun äänieristyksestä tehtiin useita laskelmia. Laskentatulokset ovat vain ohjeellisia. Alla esitetyt kaavioita voi käyttää karkean arvion laatimiseen julkisivun melutason erosta. Rakennusten julkisivun äänieristys on kuitenkin suunniteltava tapauskohtaisesti noudattamalla kansallisia määräyksiä.

Laskelmissa käytettiin olettamuksena suorakulmaista esimerkkirakennusta. Esimerkkitalojen mitat valittiin siten, että julkisivun pituuden suhde oli 1:2 julkisivun pinta-alan vaikutuksen havainnollistamiseksi julkisivun äänieristykseen. Julkisivun äänieristys määritettiin sekä lyhyemmälle julkisivulle (F_1) että pidemmälle julkisivulle (F_2). Lisäksi julkisivun äänieristys määritettiin kulmahuoneen kohdalla, jossa ääni kulkee sekä julkisivun F_1 että julkisivun F_2 kautta (*yhdistetty*). Ulkoseinärakenteet ja sisätilojen kattopinnat vaihtelivat sisätilojen absorptioalan vaikutuksen selvittämiseksi yhdessä seinärakenteen ilmaäänieristysindeksin kanssa. Esimerkkirakennuksen pohjapiirustus on esitetty kuvassa 4.



Kuva 4: Julkisivun äänieristyslaskelmissa käytetty esimerkkirakennus. Laskelmissa on otettu huomioon liikennemelun kulkeminen joko julkisivun F_1 tai F_2 kautta sekä äänen kulkeminen kulmahuoneen kohdalla molempien julkisivujen kautta samanaikaisesti. Julkisivujen pituuden suhde on 1:2 ($B = 2L$).

Julkisivun äänieristyslaskelmat tehtiin soveltamalla yhteensä 3 erilaista ulkoseinärakennetta. Kaikki ulkoseinärakenteet olivat Ruukki SPA E 150 –paneelleja, joihin lisättiin vaihteleva määrä ääntä vaimentavaa materiaalia. Sisätilojen absorptioala A laskettiin mittauksista, kirjallisuudesta ja tietyissä tapauksissa laskelmista saatujen absorptiokertoimen arvojen perusteella. Sisätilojen kaikki pinnat olivat laskelmassa olettamuksena yhtenäisiä eli ääntä vaimentavien materiaalien peittävyys oli 100 % kaikilla pinnoilla. Esimerkkitalossa oli kaikissa tapauksissa olettamuksena diffuusi äänikenttä. Laskelmissa käytetyt sisäpintojen absorptio-ominaisuudet ja ulkoseinien ilmaäänieristysindeksit $R_w + C_{tr}$ on esitetty taulukossa 2.

Taulukko 2: Julkisivun äänieristyksen laskennassa huomioon otetut rakenteet.

Rakenne	Rakennekerrokset	R_w [dB]	α_w [-]
Sisäpinnat, sisäkatto 1	Kantava profiililevy, ei perforointia tai verhousta.	–	0,10
Sisäpinnat, sisäkatto 2	Ruukki T130M, perforointi 15 % Mineraalivilla 30 mm Höyrynsulku Mineraalivilla 290 mm	–	0,35
Sisäpinnat, sisäkatto 3	Ruukki T130M, perforointi 15 % Kuitukangas + Akustinen lisärakenne Mineraalivilla 30 mm Höyrynsulku Mineraalivilla 290 mm	–	0,45
Sisäpinnat, sisäkatto 4	Ruukki T20, perforointi 30 % + Kuitukangas Ruukki T130M, perforointi 15 % Kuitukangas + Akustinen lisärakenne Mineraalivilla 30 mm Höyrynsulku Mineraalivilla 290 mm	–	0,70
Sisäpinnat, sisäkatto 5	Ruukki T153M, perforointi 30 % Mineraalivilla 30 mm Höyrynsulku Mineraalivilla 290 mm	–	0,80
Sisäpinnat, sisäkatto 6	Ruukki T153M, perforointi 30 % Kuitukangas + Akustinen lisärakenne Mineraalivilla 30 mm Höyrynsulku Mineraalivilla 290 mm	34	0,90
Sisäpinnat, sisäkatto 7	Ruukki T20, perforointi 30 % + Kuitukangas Ruukki T153M, perforointi 30 % Kuitukangas + Akustinen lisärakenne Mineraalivilla 30 mm Höyrynsulku Mineraalivilla 290 mm	–	1,00
Sisäpinnat, sisäkatto 8	Alakatto, kipsilevy	–	0,10
Sisäpinnat, sisäkatto 9	Alakatto, Ecophon Focus A, asennussyvyys 200 mm	–	1,00
Ulkopinnat, seinä 1	SPA 150E	27	0,15
Ulkopinnat, seinä 2	SPA 150E Paroc Extra F 50 mm Design Tokyo S18, perforointi 30 %.	30	0,50
Ulkopinnat, seinä 3	SPA 150E Paroc Extra F 100 mm Design Tokyo S18, perforointi 30 %.	34	0,90
Sisäpinnat, lattia	Betonivalu <i>paikan päällä</i>	–	0,00

Julkisivuelementtien tasoero $\Delta L_{A,eq}$ laskettiin seuraavalla kaavalla:

$$\Delta L_{A,eq,i} = (R_w + C_{tr}) - 7 - 10 \log_{10} \frac{S_i}{S_H} + 10 \log_{10} \frac{A}{A_0}$$

Kaavassa S_i [m²] on julkisivuelementin pinta-ala i , S_H vastaanottavan huoneen pinta-ala, A_0 [m²] vastaanottavan huoneen absorptioala jälkikaiunta-aikaan 0,5 sekuntia normalisoinnin jälkeen ja A [m²] vastaanottavan huoneen todellinen absorptioala. Absorptioala A_0 voidaan määrittää Sabine kaavalla:

$$A_0 = 0,16 \frac{V}{0,5 s}$$

Kaavassa V [m³] on vastaanottavan huoneen tilavuus.

Kaikkien julkisivuelementtien (eri ulkoseinärakenteet, ikkunat, parvekeovet jne.) melutason tasoerot yhdistettiin seuraavalla kaavalla:

$$\Delta L_{A,eq} = 10 \log_{10} \left(\frac{1}{\sum_{n=1}^i 10^{-\Delta L_{A,eq,i}/10}} \right)$$

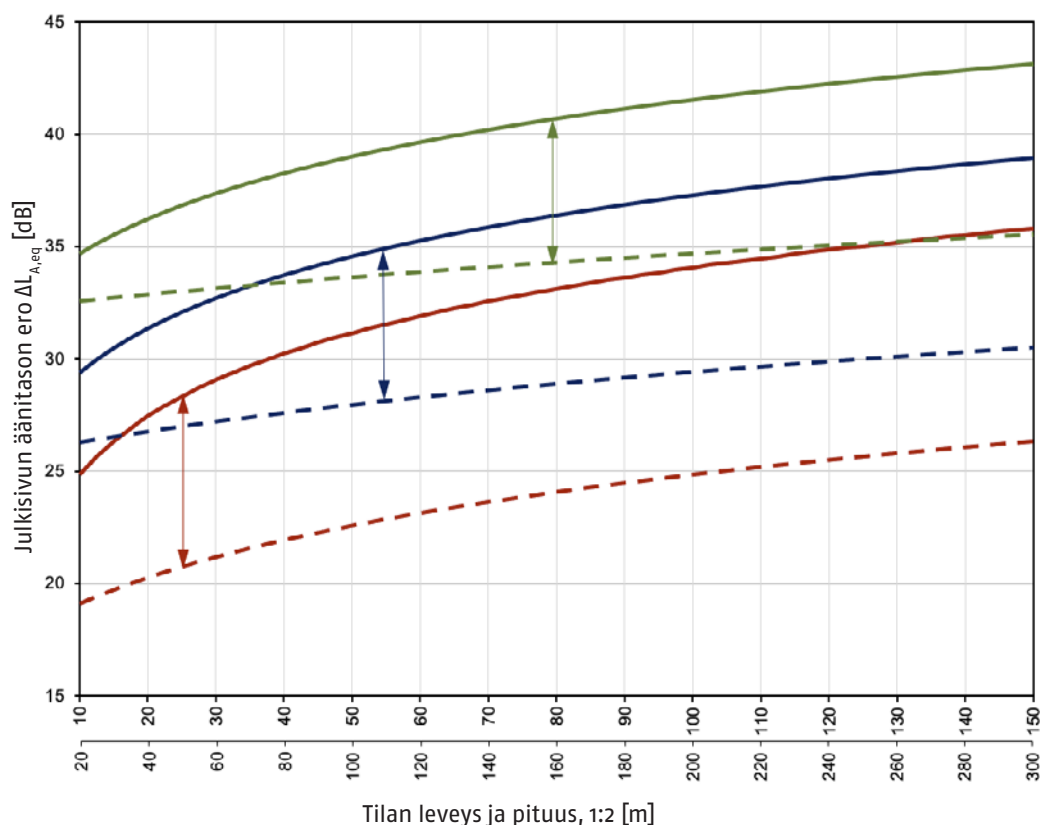
Julkisivun äänieristys laskettiin jokaiselle julkisivulle (F1 ja F2) sekä näiden yhdistelmälle.

Muutetulla RIL 243-1 -mallilla lasketut arvot voivat poiketa EN ISO 12354-3 -mallilla ja muilla malleilla lasketuista arvoista. Rakennusten julkisivun äänieristys on suunniteltava tapauskohtaisesti soveltamalla kansallisten määräysten mukaisia malleja.

Ulkoa kantautuvan liikennemelun tasoa voidaan alentaa sisätilassa kahdella tavalla. Melutasoa voidaan laskea parantamalla ulkoseinärakenteen ja rakennuksen muiden osien ilmaäänieristystä asianmukaisessa julkisivussa, kuten ikkunoiden ja parvekeovien ilmaäänieristystä. Toinen sisätilojen melutasoon vaikuttava tekijä on melunvaimennus sisätiloissa.

Vastaanottavan huoneen absorptio-ominaisuuksilla on tärkeä merkitys äänenpainetasolle huoneessa. Huoneen absorptioalan A suurentaminen lyhentää jälkikaiunta-aikaa T [s] ja voimistaa äänitason vaimenemista D [dB]. Ne molemmat vähentävät ulkoa kantautuvasta liikennemelusta aiheutuvaa kokonaismelutasoa sisätiloissa. Julkisivun äänitason ero voi parantua merkittävästi, kun absorptioalaa A suurennetaan sisätiloissa.

Sisäkaton materiaalin vaihtamisen vaikutus suurimmaksi osaksi ääntä heijastavasta pinnasta (sisäkatto 1, $\alpha_w = 0,1$) erittäin voimakkaasti ääntä vaimentavaan pintaan (sisäkatto 7, $\alpha_w = 0,9$) on esitetty kuvassa 5. Kuvassa on esitetty myös ulkoseinärakenteen ilmaäänieristyksen vaikutus julkisivun äänieristykseen.



Sisäkaton tyyppi, kevyet sandwich-seinät	Äänen absorptio, a_w
Katkoviiva: Ääntä heijastava sisäkatto (levy, betoni, LBS...)	0,10
Yhtenäinen viiva: Ääntä vaimentava Ruukki LBS T153 AcuB + akustinen lisärakenne	0,90
SPA 150E: $Rw+Ctr = 27$ dB	0,15
SPA 150E + 50 mm äänenvaimennus: $Rw+Ctr = 30$ dB	0,50
SPA 150E + 100 mm äänenvaimennus: $Rw+Ctr = 34$ dB	0,90

--- Ulk. seinä 1, sis. sisäkatto 1, F1	— Ulk. seinä 1, sis. sisäkatto 7, F1
--- Ulk. seinä 2, sis. sisäkatto 1, F1	— Ulk. seinä 2, sis. sisäkatto 7, F1
--- Ulk. seinä 3, sis. sisäkatto 1, F1	— Ulk. seinä 3, sis. sisäkatto 7, F1

Sisäkatto	a_w
Sisäkatto 1	0,10
Sisäkatto 7	0,90

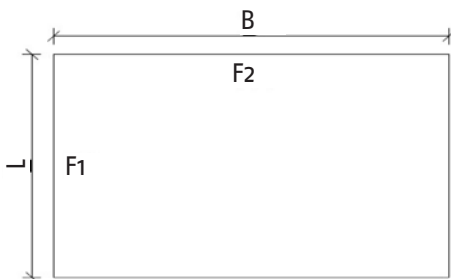
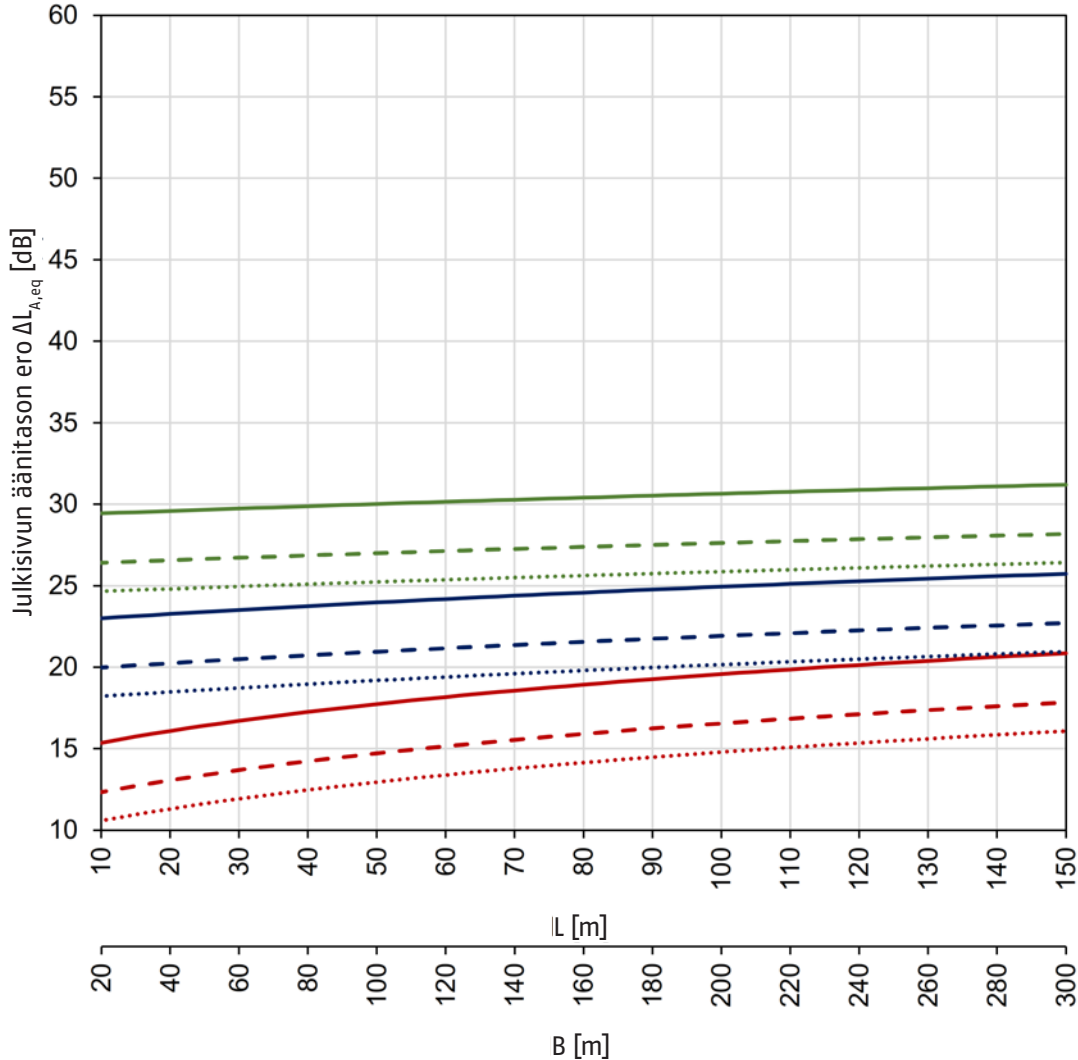
Kuva 5: Sisätilojen äänen vaimennuksen vaikutus julkisivun äänitason eroon.

Kuvasta 5 ilmenee, että Ruukin SPA 150E -paneelissa melun A-painotetun ekvivalenttitason eroa $\Delta L_{A,eq}$ voidaan parantaa jopa 10 dB käyttämällä SPA-paneelin pinnalla melua vaimentavaa verhousta. Kuvasta havaitaan lisäksi, että huoneen absorptioalan suurentaminen vaikuttaa merkittävästi äänitasoon huoneessa. Käyttämällä Ruukin perforoituja profililevyjä sisäkattorakenteena melun A-painotettua ekvivalenttitasoa sisätiloissa $L_{A,eq,indoors}$ voidaan pienentää ja siten suurentaa samalla julkisivun äänitason eroa entisestään.

5.1 ISOT TILAT

Jäljempänä olevissa kaavioissa on esitetty melun A-painotettujen ekvivalenttitasojen ero $\Delta L_{A,eq}$ laskentatulokset erilaisista ulkoseinärakenteista, joissa on käytetty Ruukin SPA-sandwich-paneeleja. Alla olevat kaaviot koskevat isoja tiloja, joissa julkisivun pituus on 5–300 metriä ja sisäkorkeus $K = 10$ m.

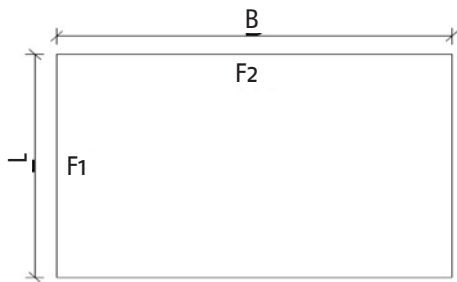
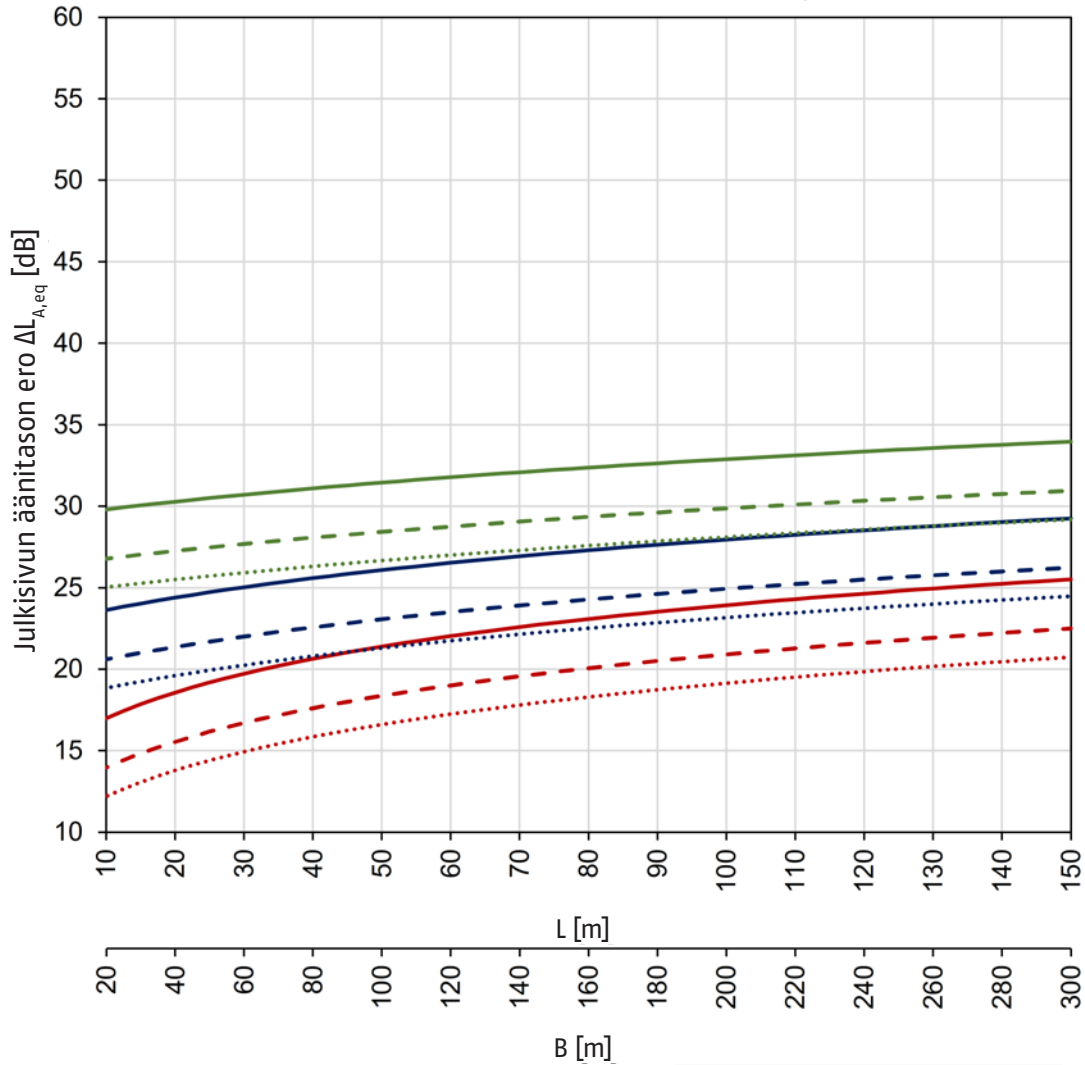
Huonekorkeus $K = 10$ m, sisäkatto $1_{a} = 0,10$



Julkisivun rakenne	$R_w + C_{tr}$	a_w
Ulkoseinä 1	27 dB	0,15
Ulkoseinä 2	30 dB	0,50
Ulkoseinä 3	34 dB	0,90

—	Ulk. seinä 1, F1
- - -	Ulk. seinä 1, F2
...	Ulk. seinä 1, yhdistetty
—	Ulk. seinä 2, F1
- - -	Ulk. seinä 2, F2
...	Ulk. seinä 2, yhdistelmä
—	Ulk. seinä 3, F1
- - -	Ulk. seinä 3, F2
...	Ulk. seinä 3, yhdistetty

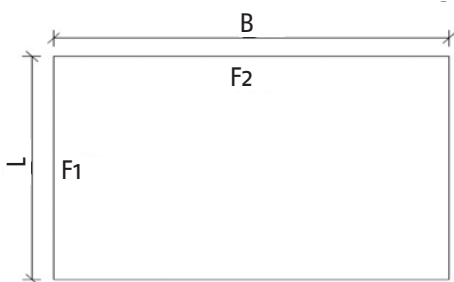
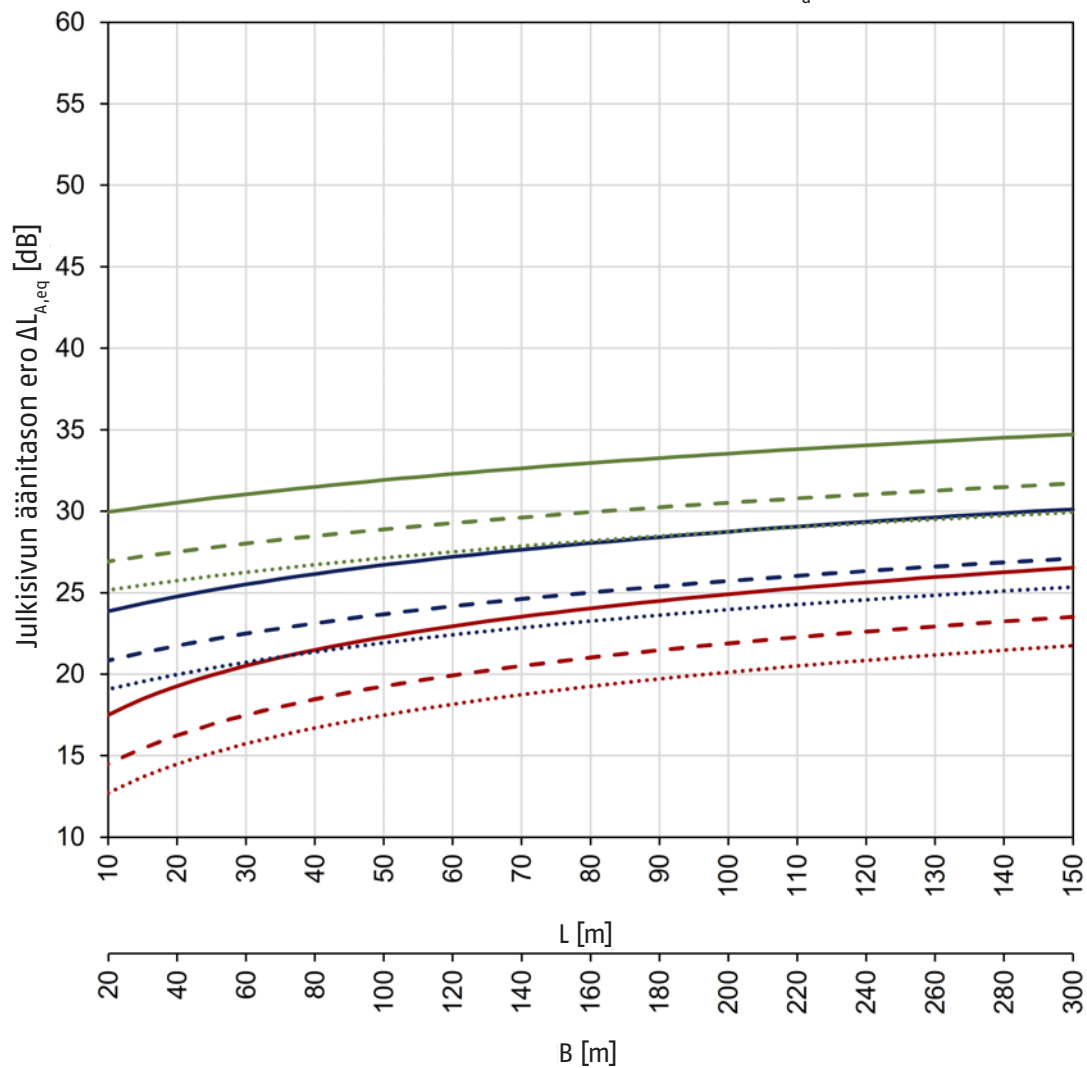
Huonekorkeus $K = 10$ m, sisäkatto $\alpha_a = 0,35$



Julkisivun rakenne	$R_w + C_{tr}$	a_w
Ulkoseinä 1	27 dB	0,15
Ulkoseinä 2	30 dB	0,50
Ulkoseinä 3	34 dB	0,90

—	Ulk. seinä 1, F1
- - -	Ulk. seinä 1, F2
...	Ulk. seinä 1, yhdistetty
—	Ulk. seinä 2, F1
- - -	Ulk. seinä 2, F2
...	Ulk. seinä 2, yhdistelmä
—	Ulk. seinä 3, F1
- - -	Ulk. seinä 3, F2
...	Ulk. seinä 3, yhdistetty

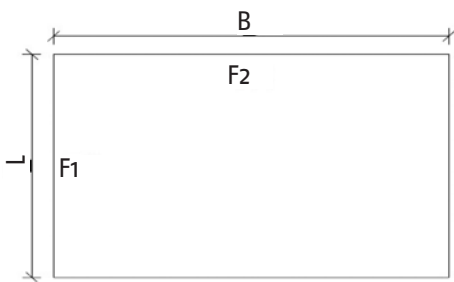
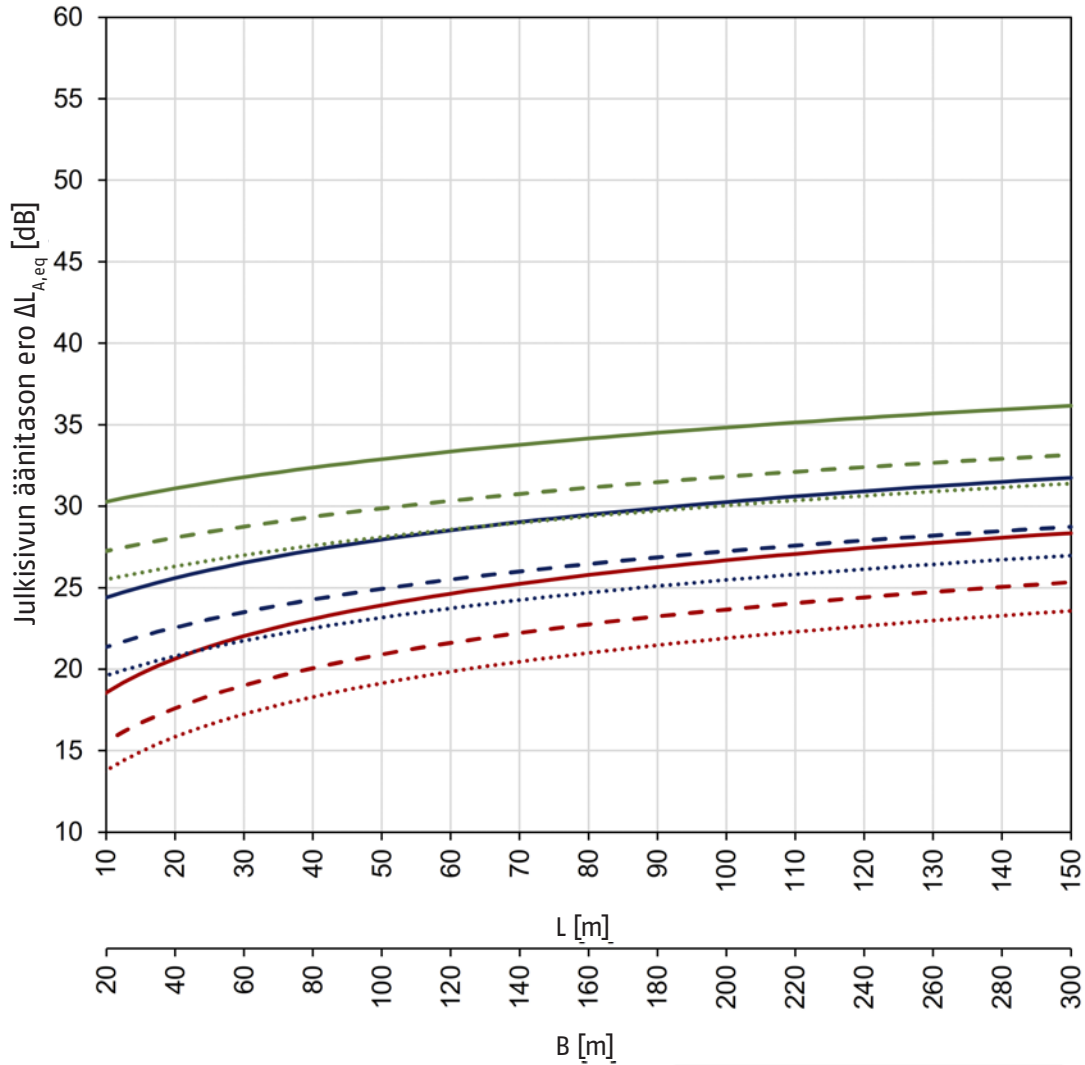
Huonekorkeus $K = 10$ m, sisäkatto $\alpha_a = 0,45$



Julkisivun rakenne	$R_w + C_{tr}$	a_w
Ulkoseinä 1	27 dB	0,15
Ulkoseinä 2	30 dB	0,50
Ulkoseinä 3	34 dB	0,90

—	Ulk. seinä 1, F1
- - -	Ulk. seinä 1, F2
...	Ulk. seinä 1, yhdistetty
—	Ulk. seinä 2, F1
- - -	Ulk. seinä 2, F2
...	Ulk. seinä 2, yhdistelmä
—	Ulk. seinä 3, F1
- - -	Ulk. seinä 3, F2
...	Ulk. seinä 3, yhdistetty

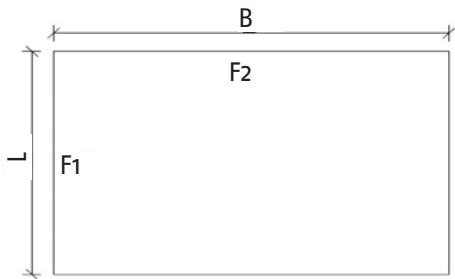
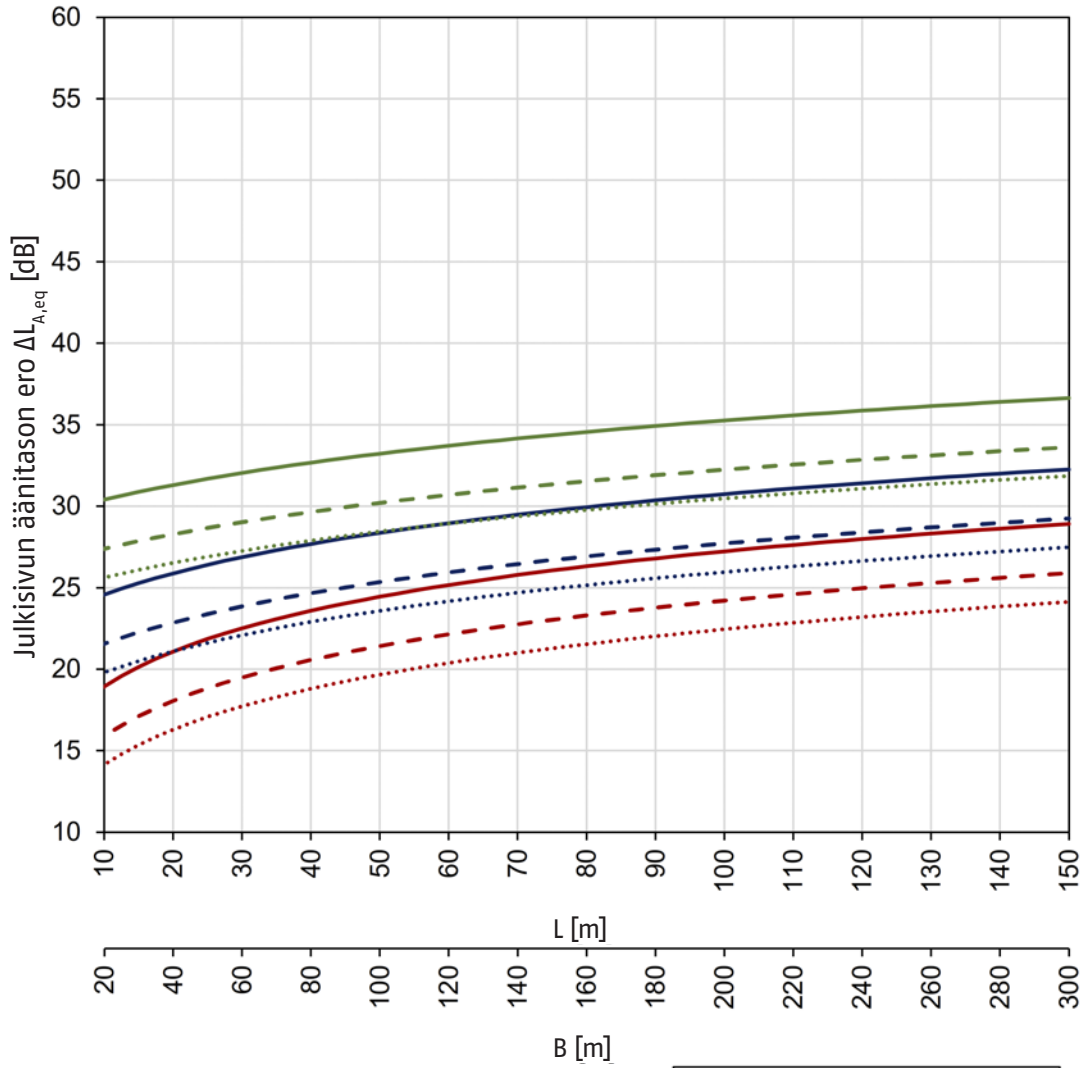
Huonekorkeus $K = 10$ m, sisäkatto $\alpha_{r,a} = 0,70$



Julkisivun rakenne	$R_w + C_{tr}$	a_w
Ulkoseinä 1	27 dB	0,15
Ulkoseinä 2	30 dB	0,50
Ulkoseinä 3	34 dB	0,90

—	Ulk. seinä 1, F1
- - -	Ulk. seinä 1, F2
...	Ulk. seinä 1, yhdistetty
—	Ulk. seinä 2, F1
- - -	Ulk. seinä 2, F2
...	Ulk. seinä 2, yhdistelmä
—	Ulk. seinä 3, F1
- - -	Ulk. seinä 3, F2
...	Ulk. seinä 3, yhdistetty

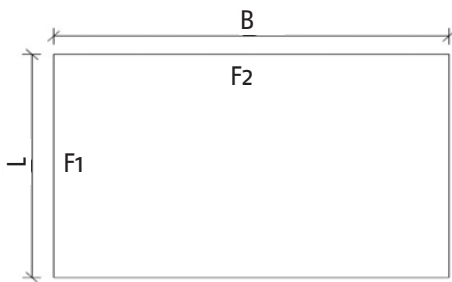
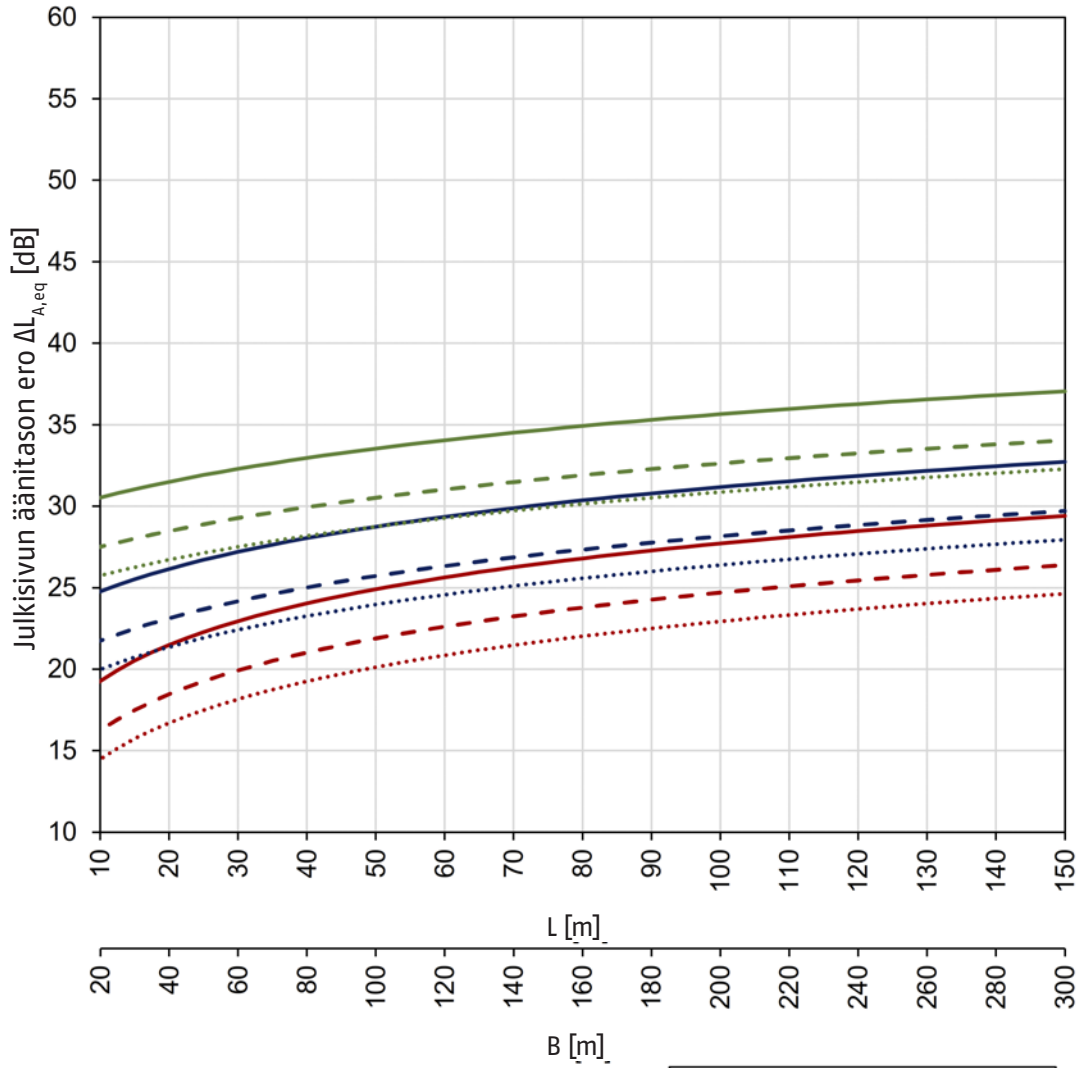
Huonekorkeus $K = 10$ m, sisäkatto $\alpha_a = 0,80$



Julkisivun rakenne	$R_w + C_{tr}$	a_w
Ulkoseinä 1	27 dB	0,15
Ulkoseinä 2	30 dB	0,50
Ulkoseinä 3	34 dB	0,90

- Ulk. seinä 1, F1
- - Ulk. seinä 1, F2
- ... Ulk. seinä 1, yhdistetty
- Ulk. seinä 2, F1
- - Ulk. seinä 2, F2
- ... Ulk. seinä 2, yhdistelmä
- Ulk. seinä 3, F1
- - Ulk. seinä 3, F2
- ... Ulk. seinä 3, yhdistetty

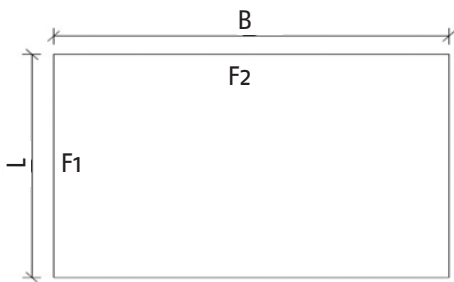
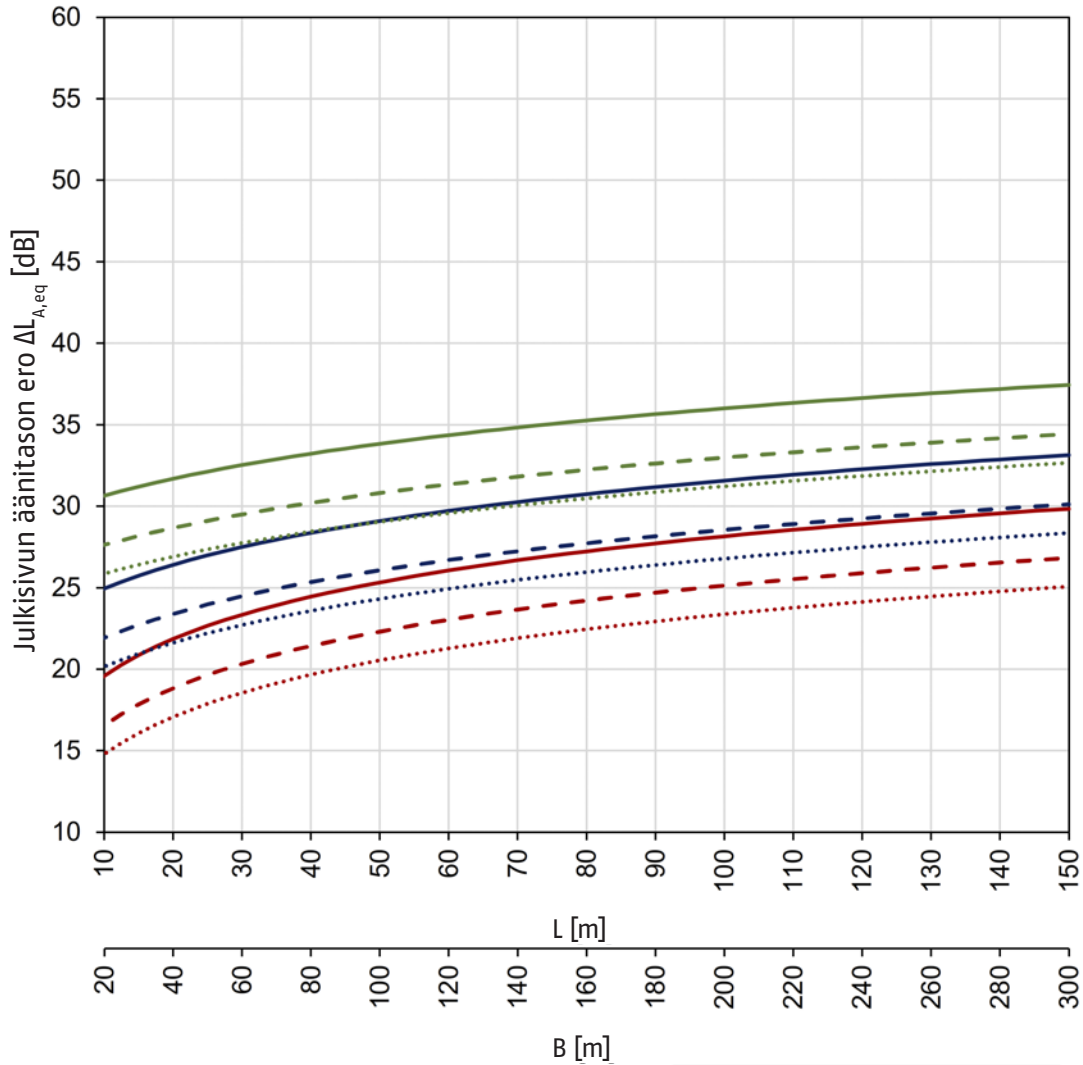
Huonekorkeus $K = 10$ m, sisäkatto $\alpha_a = 0,90$



Julkisivun rakenne	$R_w + C_{tr}$	a_w
Ulkoseinä 1	27 dB	0,15
Ulkoseinä 2	30 dB	0,50
Ulkoseinä 3	34 dB	0,90

- Ulk. seinä 1, F1
- - Ulk. seinä 1, F2
- ... Ulk. seinä 1, yhdistetty
- Ulk. seinä 2, F1
- - Ulk. seinä 2, F2
- ... Ulk. seinä 2, yhdistelmä
- Ulk. seinä 3, F1
- - Ulk. seinä 3, F2
- ... Ulk. seinä 3, yhdistetty

Huonekorkeus $K = 10$ m, sisäkatto $\alpha_a = 1,00$



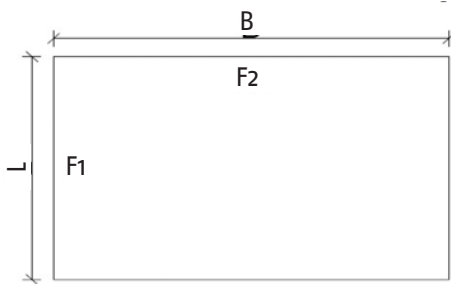
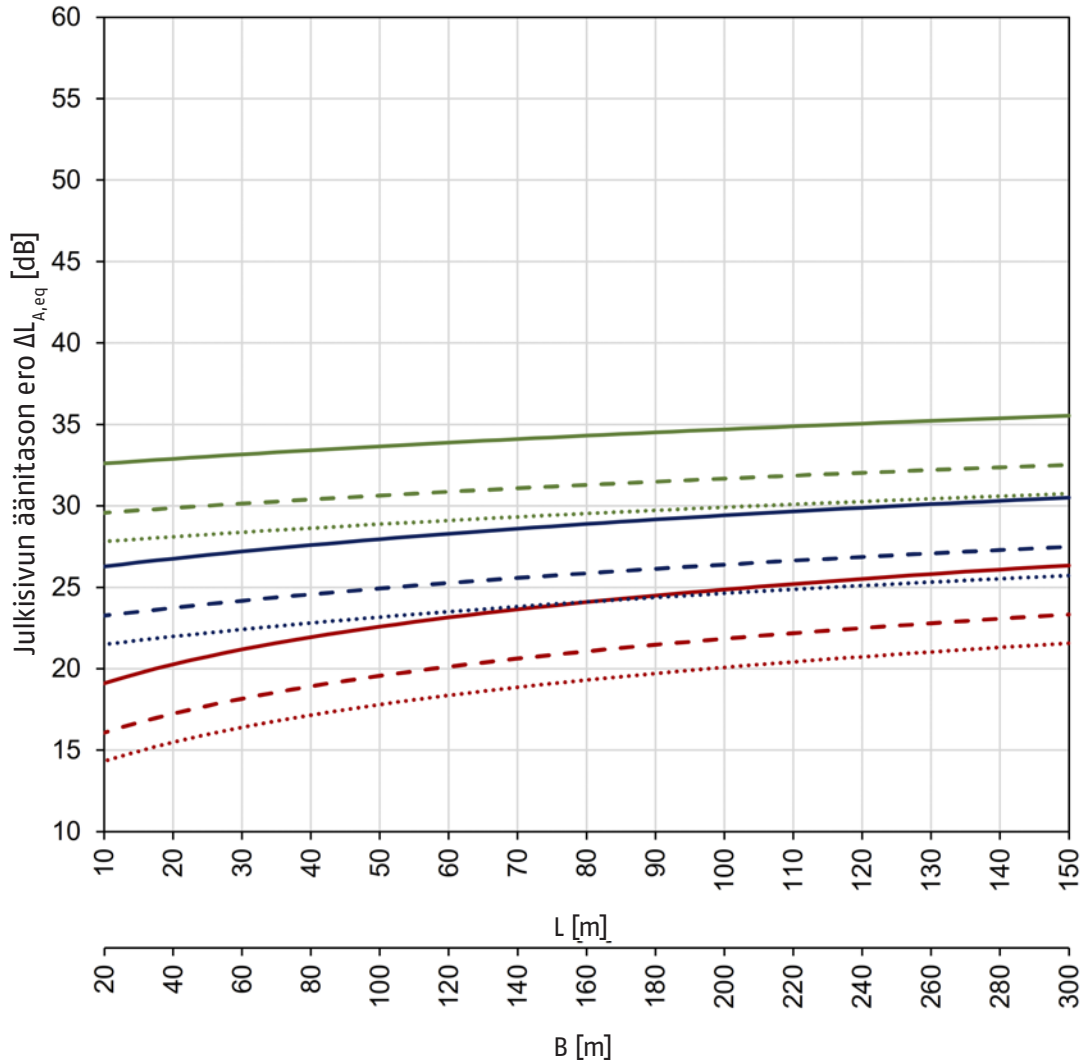
Julkisivun rakenne	$R_w + C_{tr}$	a_w
Ulkoseinä 1	27 dB	0,15
Ulkoseinä 2	30 dB	0,50
Ulkoseinä 3	34 dB	0,90

—	Ulk. seinä 1, F1
- - -	Ulk. seinä 1, F2
...	Ulk. seinä 1, yhdistetty
—	Ulk. seinä 2, F1
- - -	Ulk. seinä 2, F2
...	Ulk. seinä 2, yhdistelmä
—	Ulk. seinä 3, F1
- - -	Ulk. seinä 3, F2
...	Ulk. seinä 3, yhdistetty

5.2 KESKIKOKOISET TILAT

Jäljempänä olevissa kaavioissa on esitetty melun A-painotettujen ekvivalenttitasojen eron $\Delta L_{A,eq}$ laskentatulokset erilaisista ulkoseinärakenteista, joissa on käytetty Ruukin SPA-sandwich-paneeleja. Alla olevat kaaviot koskevat tiloja, joissa julkisivun pituus on 5–300 metriä ja sisäkorkeus $K = 5$ m.

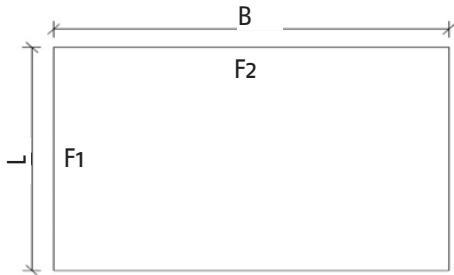
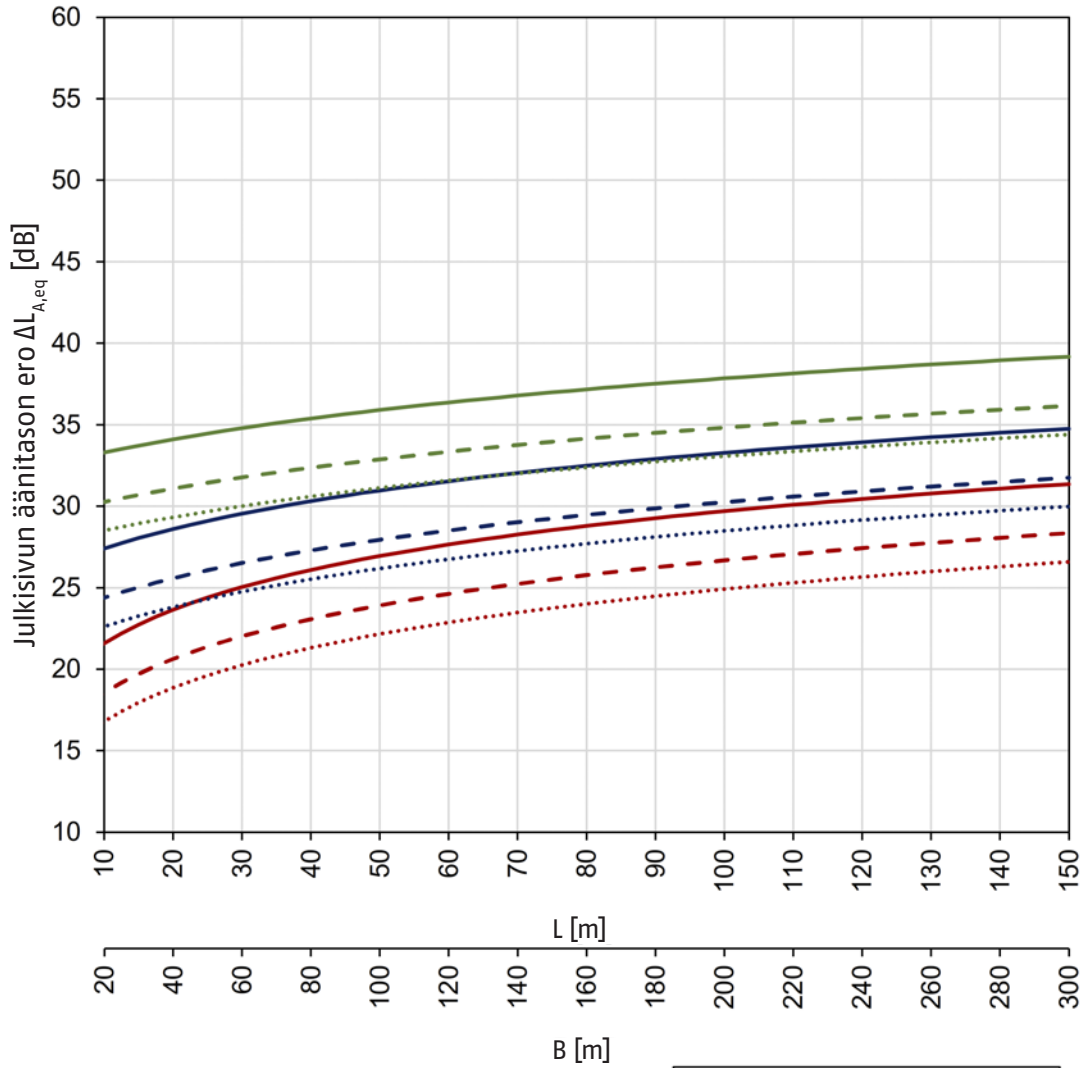
Huonekorkeus $K = 5$ m, sisäkatto $1_{a} = 0,10$



Julkisivun rakenne	$R_w + C_{tr}$	a_w
Ulkoseinä 1	27 dB	0,15
Ulkoseinä 2	30 dB	0,50
Ulkoseinä 3	34 dB	0,90

—	Ulk. seinä 1, F1
- - -	Ulk. seinä 1, F2
...	Ulk. seinä 1, yhdistetty
—	Ulk. seinä 2, F1
- - -	Ulk. seinä 2, F2
...	Ulk. seinä 2, yhdistelmä
—	Ulk. seinä 3, F1
- - -	Ulk. seinä 3, F2
...	Ulk. seinä 3, yhdistetty

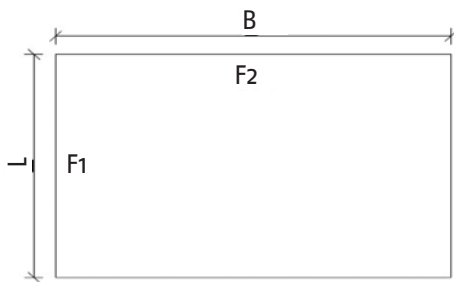
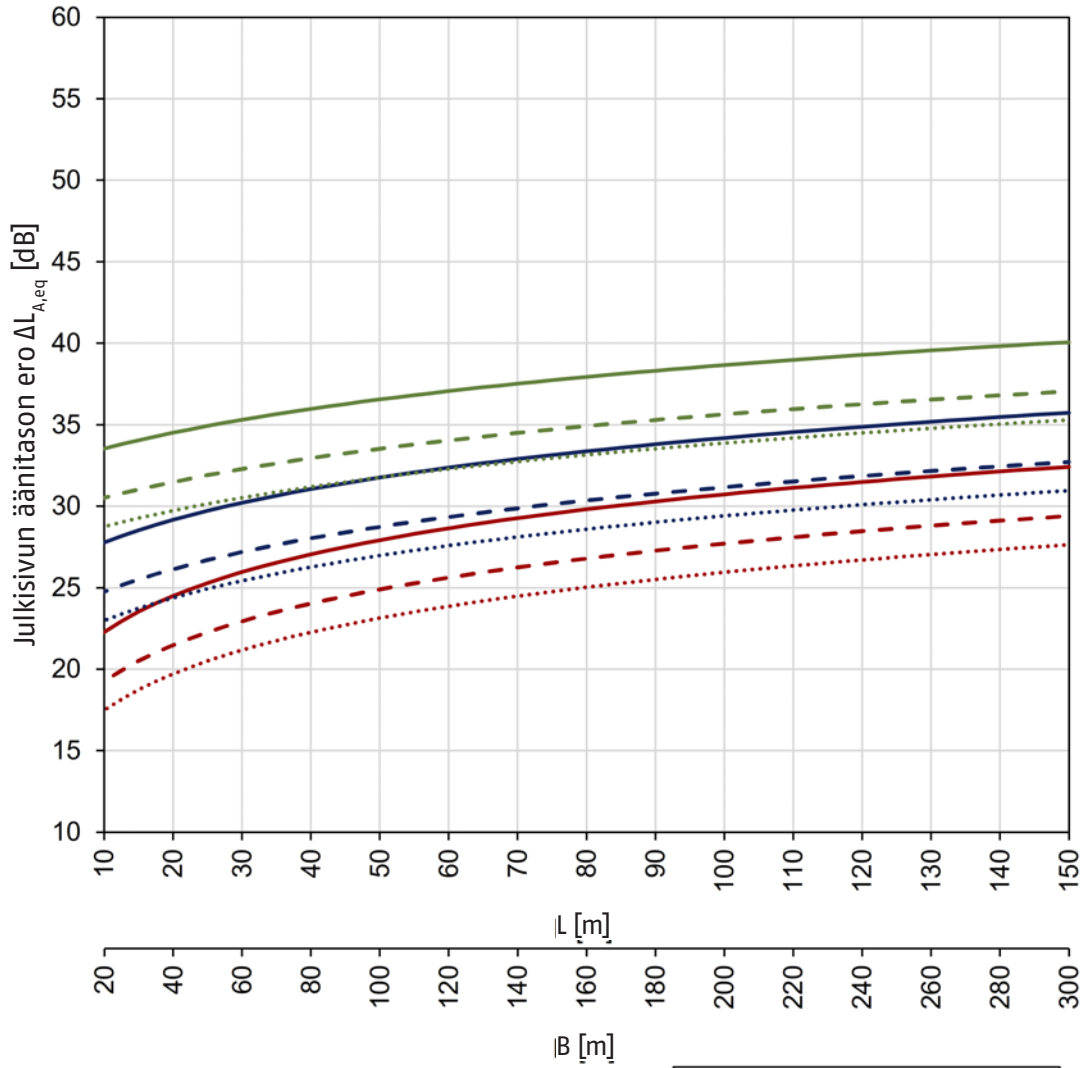
Huonekorkeus $K = 5$ m, sisäkatto $\alpha_a = 0,35$



Julkisivun rakenne	$R_w + C_{tr}$	a_w
Ulkoseinä 1	27 dB	0,15
Ulkoseinä 2	30 dB	0,50
Ulkoseinä 3	34 dB	0,90

—	Ulk. seinä 1, F1
- - -	Ulk. seinä 1, F2
...	Ulk. seinä 1, yhdistetty
—	Ulk. seinä 2, F1
- - -	Ulk. seinä 2, F2
...	Ulk. seinä 2, yhdistelmä
—	Ulk. seinä 3, F1
- - -	Ulk. seinä 3, F2
...	Ulk. seinä 3, yhdistetty

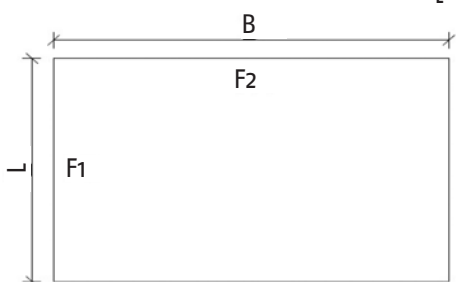
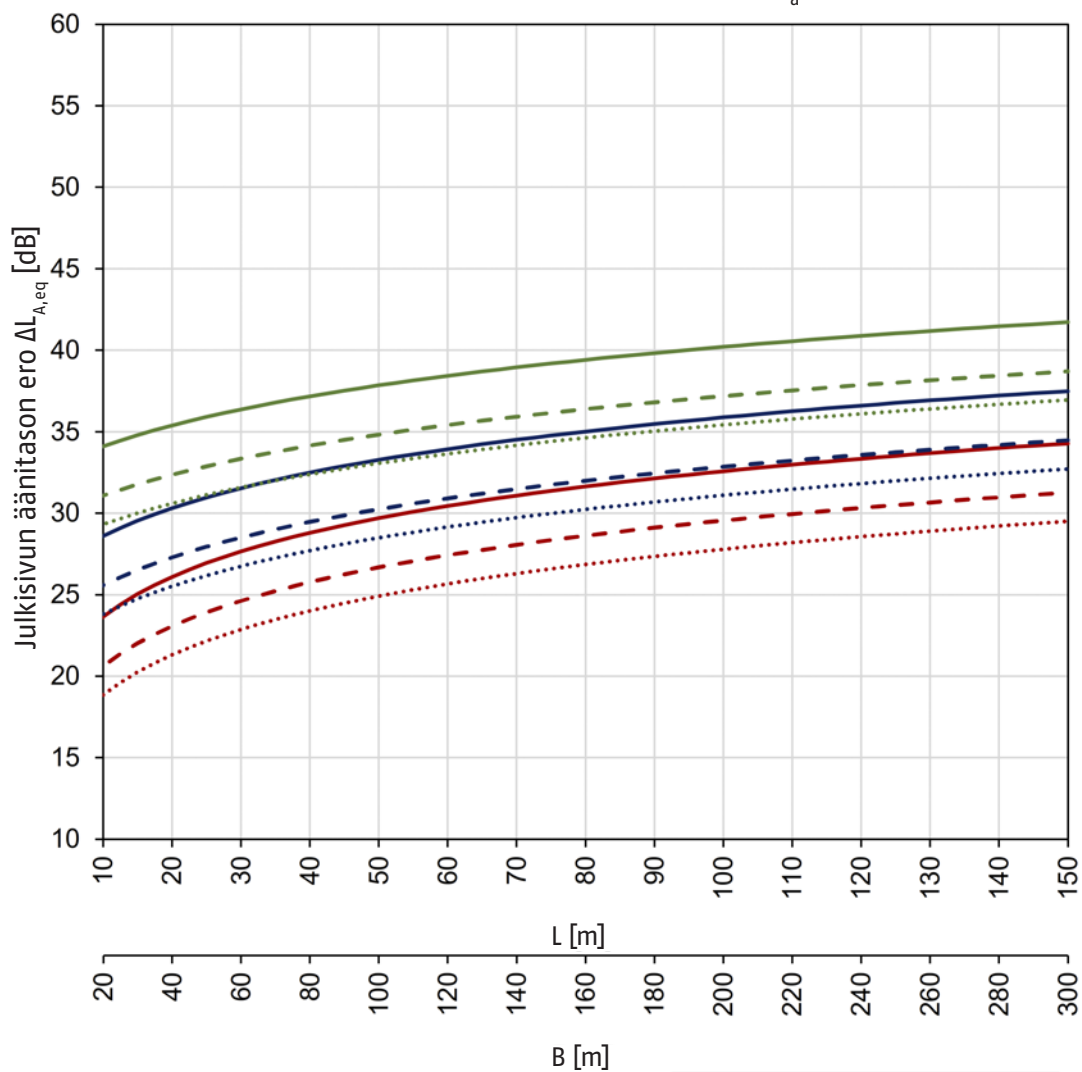
Huonekorkeus $K = 5$ m, sisäkatto $\alpha_a = 0,45$



Julkisivun rakenne	$R_w + C_{tr}$	a_w
Ulkoseinä 1	27 dB	0,15
Ulkoseinä 2	30 dB	0,50
Ulkoseinä 3	34 dB	0,90

- Ulk. seinä 1, F1
- - Ulk. seinä 1, F2
- ... Ulk. seinä 1, yhdistetty
- Ulk. seinä 2, F1
- - Ulk. seinä 2, F2
- ... Ulk. seinä 2, yhdistelmä
- Ulk. seinä 3, F1
- - Ulk. seinä 3, F2
- ... Ulk. seinä 3, yhdistetty

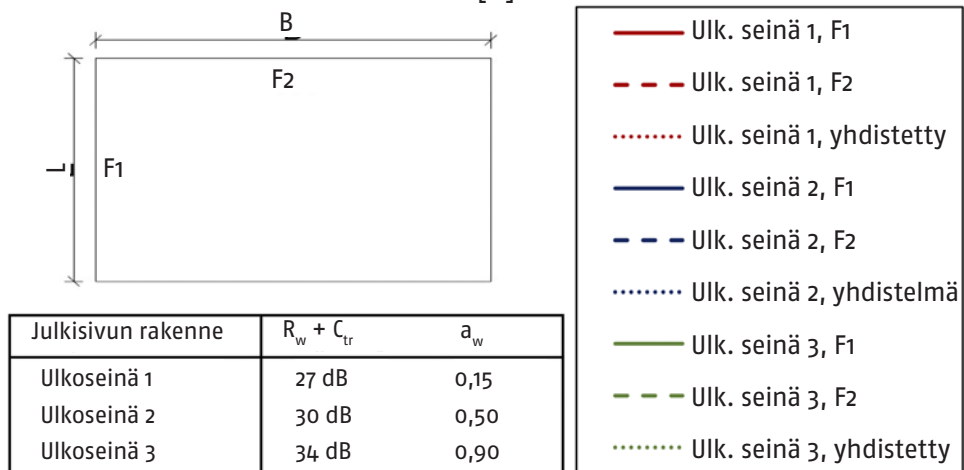
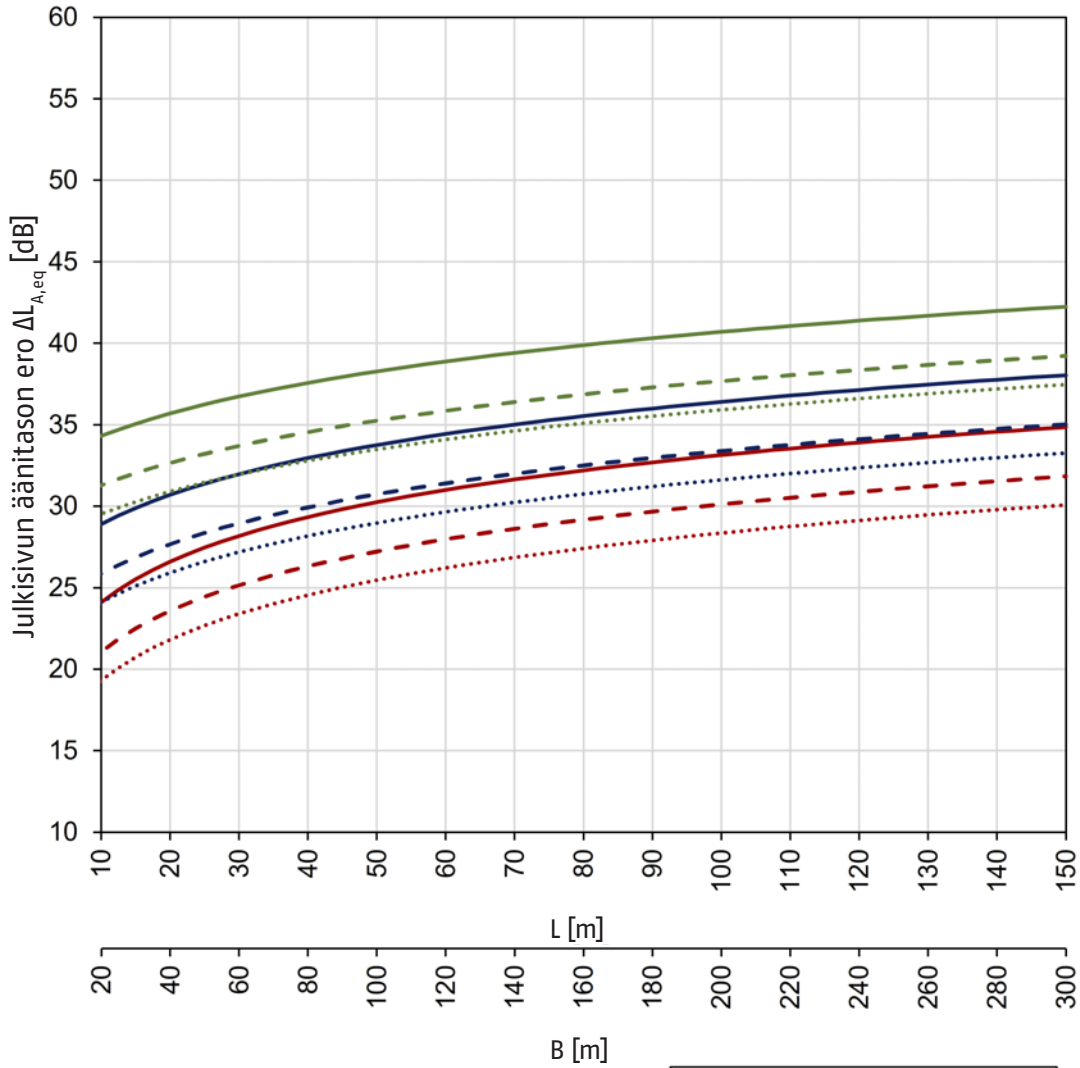
Huonekorkeus $K = 5$ m, sisäkatto $\alpha_{r,a} = 0,70$



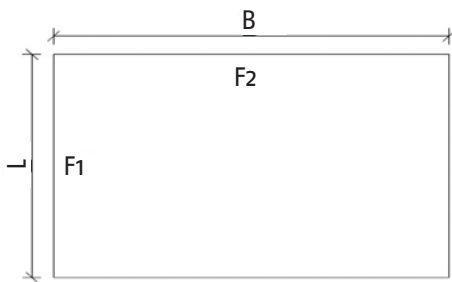
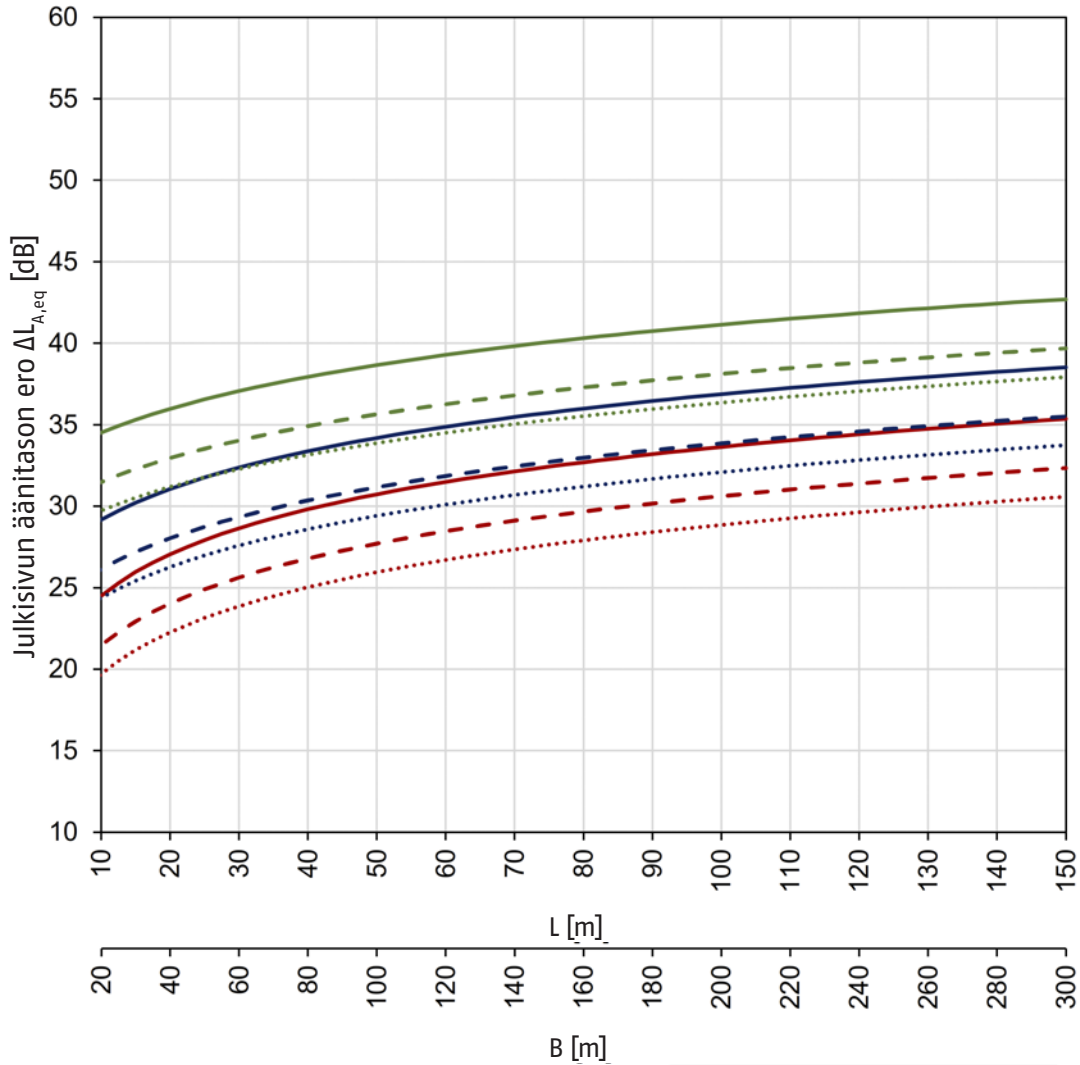
Julkisivun rakenne	$R_w + C_{tr}$	a_w
Ulkoseinä 1	27 dB	0,15
Ulkoseinä 2	30 dB	0,50
Ulkoseinä 3	34 dB	0,90

- Ulk. seinä 1, F1
- - Ulk. seinä 1, F2
- Ulk. seinä 1, yhdistetty
- Ulk. seinä 2, F1
- - Ulk. seinä 2, F2
- Ulk. seinä 2, yhdistelmä
- Ulk. seinä 3, F1
- - Ulk. seinä 3, F2
- Ulk. seinä 3, yhdistetty

Huonekorkeus $K = 5$ m, sisäkatto $\alpha_a = 0,80$



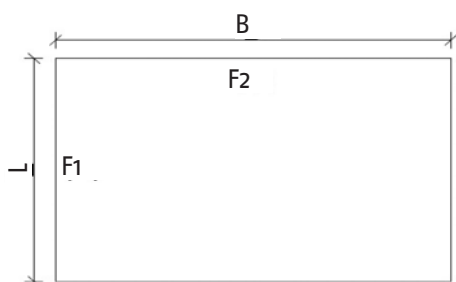
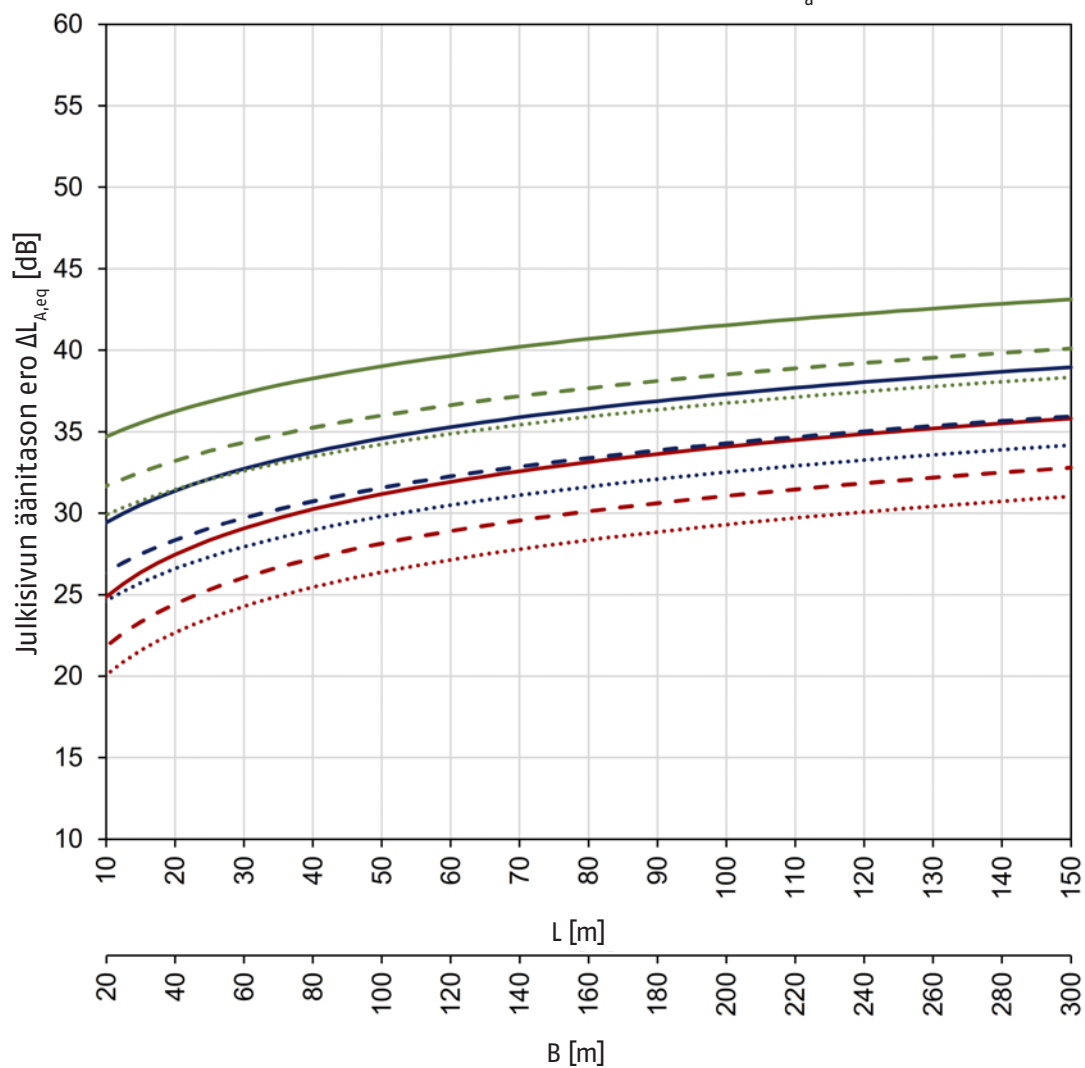
Huonekorkeus $K = 5$ m, sisäkatto $\alpha_a = 0,90$



Julkisivun rakenne	$R_w + C_{tr}$	α_w
Ulkoseinä 1	27 dB	0,15
Ulkoseinä 2	30 dB	0,50
Ulkoseinä 3	34 dB	0,90

—	Ulk. seinä 1, F1
- - -	Ulk. seinä 1, F2
...	Ulk. seinä 1, yhdistetty
—	Ulk. seinä 2, F1
- - -	Ulk. seinä 2, F2
...	Ulk. seinä 2, yhdistelmä
—	Ulk. seinä 3, F1
- - -	Ulk. seinä 3, F2
...	Ulk. seinä 3, yhdistetty

Huonekorkeus $K = 5$ m, sisäkatto $\gamma_{i,a} = 1,00$



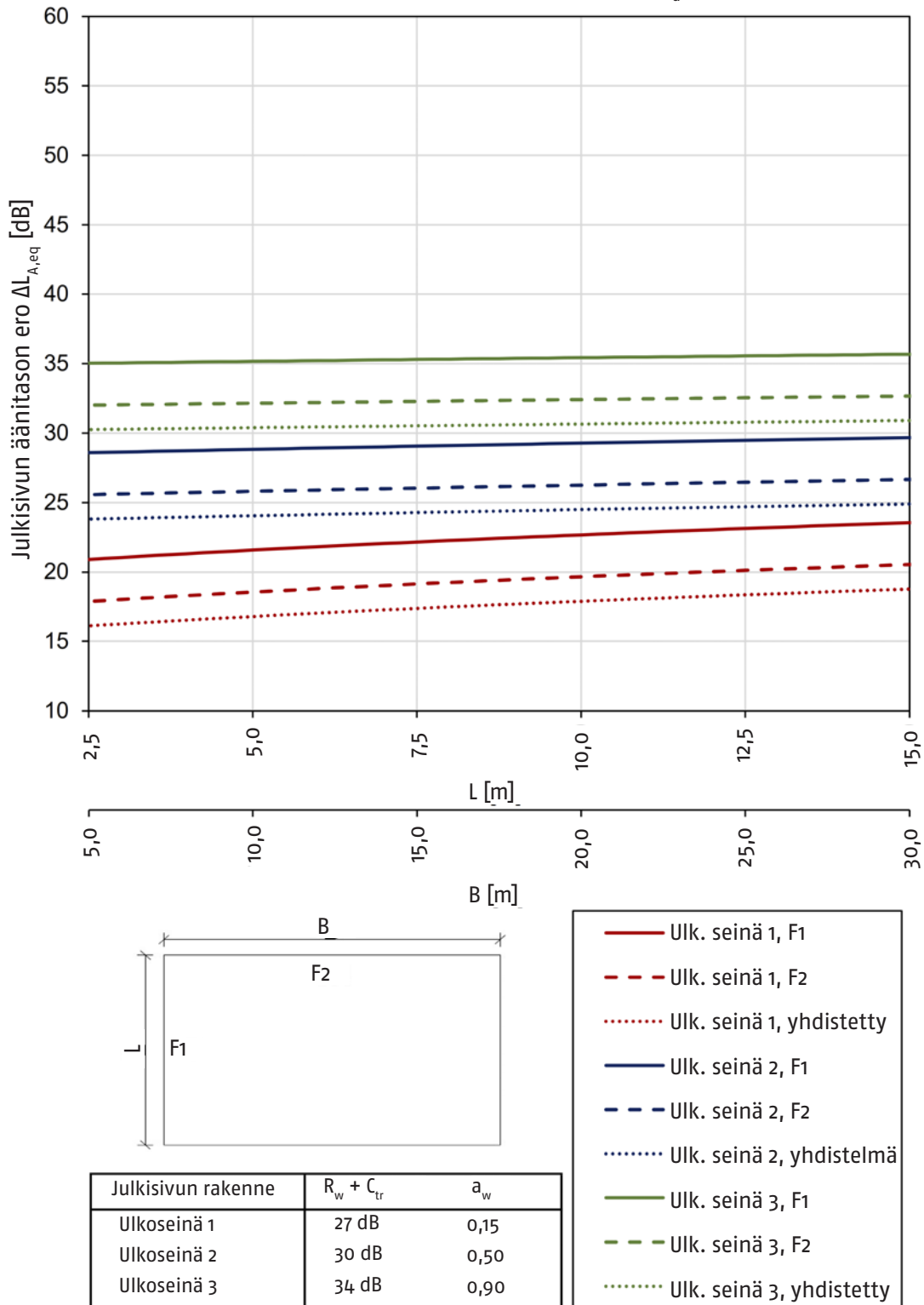
Julkisivun rakenne	$R_w + C_{tr}$	a_w
Ulkoseinä 1	27 dB	0,15
Ulkoseinä 2	30 dB	0,50
Ulkoseinä 3	34 dB	0,90

- Ulk. seinä 1, F1
- - Ulk. seinä 1, F2
- ... Ulk. seinä 1, yhdistetty
- Ulk. seinä 2, F1
- - Ulk. seinä 2, F2
- ... Ulk. seinä 2, yhdistelmä
- Ulk. seinä 3, F1
- - Ulk. seinä 3, F2
- ... Ulk. seinä 3, yhdistetty

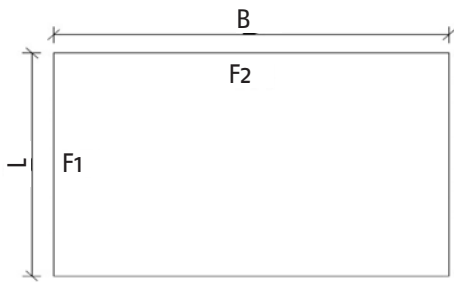
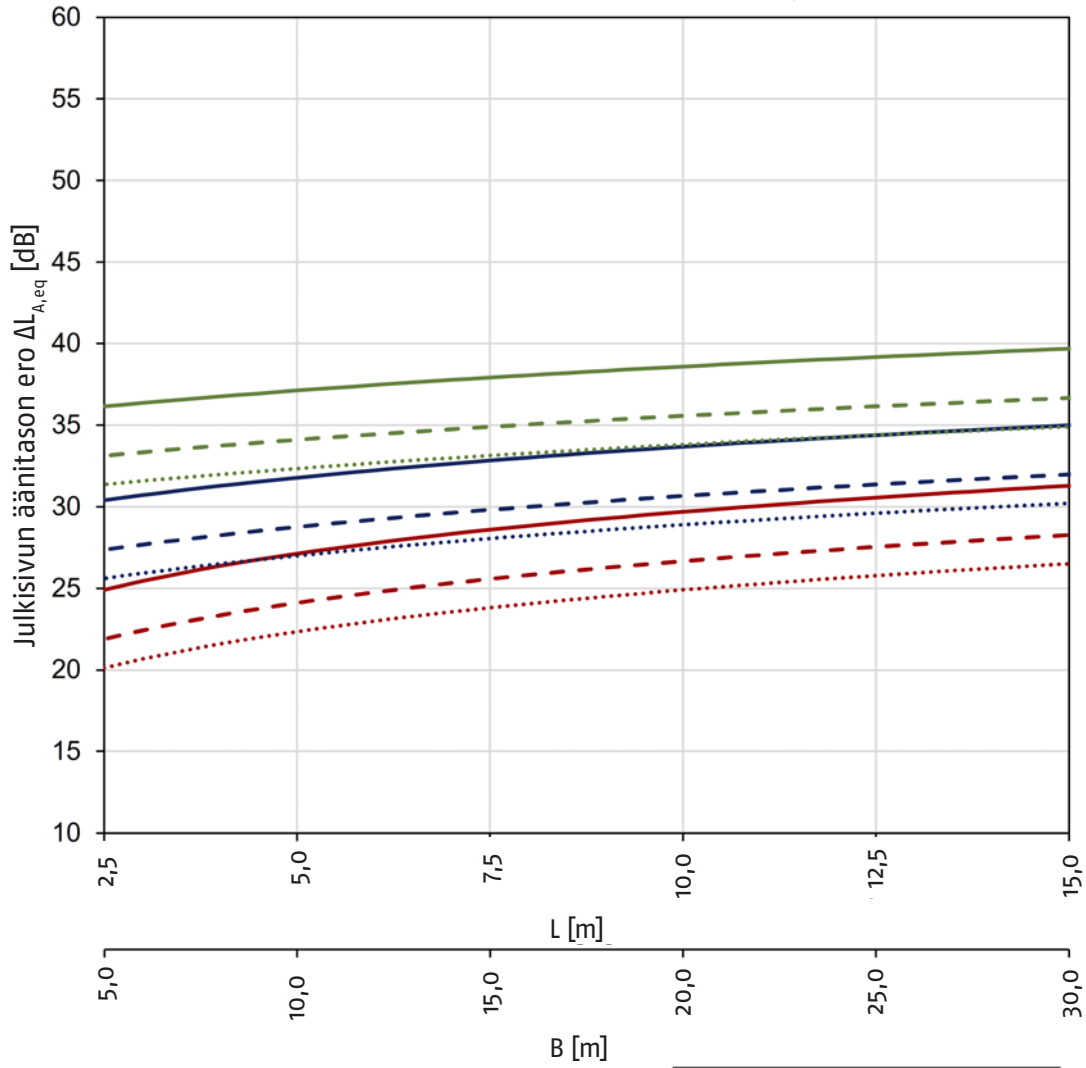
5.3 PIENET TILAT

Alla olevassa kaaviossa on esitetty melun A-painotetun ekvivalenttitason eron $\Delta L_{A,eq}$ laskentatulokset eri ulkoseinärakenteista. Laskelmat koskevat pientä toimistotilaa, jonka julkisivun pituus on 2,5–30 metriä ja sisäkorkeus $K = 2,75$ m.

Huonekorkeus $K = 2,75$ m, sisäkatto $8_{i,a} = 0,10$



Huonekorkeus $K = 2,75$ m, sisäkatto $g_{i,a} = 1,00$



Julkisivun rakenne	$R_w + C_{tr}$	a_w
Ulkoseinä 1	27 dB	0,15
Ulkoseinä 2	30 dB	0,50
Ulkoseinä 3	34 dB	0,90

- Ulk. seinä 1, F1
- - Ulk. seinä 1, F2
- Ulk. seinä 1, yhdistetty
- Ulk. seinä 2, F1
- - Ulk. seinä 2, F2
- Ulk. seinä 2, yhdistelmä
- Ulk. seinä 3, F1
- - Ulk. seinä 3, F2
- Ulk. seinä 3, yhdistetty

6

LÄHTEET

- [1] C. Scrosati, F. Scamoni, M. Depalma, M. Ghellere, Façade sound insulation as protection to outdoor noise. Acoustics ICA:n julkaisu, 23. kansainvälinen kongressi, Aachen, Saksa, 2019.

Valmistamme teräspohjaisia seinä- ja kattotuotteita kaupallisiin ja asuinrakennuksiin. Toimitamme ympäristöystävällisiä ja laadukkaita tuotteita, järjestelmiä ja ratkaisuja, jotka kestävät ankarimmissakin olosuhteissa.

Tämä julkaisu on tehty parhaan oman tietämyksemme ja ymmärtämyksemme pohjalta. Vaikka olemme tehneet kaikkemme tietojen täsmällisyyden takaamiseksi, Ruukki ei ole vastuussa mistään virheistä tai puutteista tai mistään suorasta, epäsuorasta tai välillisestä vahingosta, joka on aiheutunut tietojen virheellisestä soveltamisesta. Pidätämme oikeuden muutoksiin. Katso aina tarkat vertailutiedot alkuperäisistä standardeista. Uusimmat tekniset päivitykset löytyvät osoitteesta www.ruukki.com.



Ruukki Construction Oy, Panuntie 11, FI-00620 Helsinki,
+358 (0) 20 59 150, www.ruukki.com

Copyright© 2022 Ruukki Construction. Kaikki oikeudet pidätetään. Ruukki ja Ruukin tuotenimet ovat SSAB:n tytäryhtiön Rautaruukki Oyj:n tavaramerkkejä tai rekisteröityjä tavaramerkkejä.