

3 RAKENNUSOSIEN AKUSTINEN TOIMINTA

3.1 YKSINKERTAINEN RAKENNE

Akustisesti rakenne on yksinkertainen, kun se on kauttaaltaan samaa materiaalia tai kun eri materiaalikerrokset ovat niin kiinteässä yhteydessä toisiinsa, että ne värähtelevät yhtenä kokonaisuutena. Yksinkertaisen rakenteen ilmääneneristävyyden suunnittelussa merkityksellisiä tekijöitä ovat rakenteen massa, jäykkyys, ilmatiiviyys ja rakenteellisten sivutiesiirtymien vaikutus. Yksinkertaisen rakenteen askelääneneristävyyden suunnittelussa edellisten lisäksi merkityksellinen tekijä on myös pintarakenteen joustavuus (esim. lattiapinnoite).

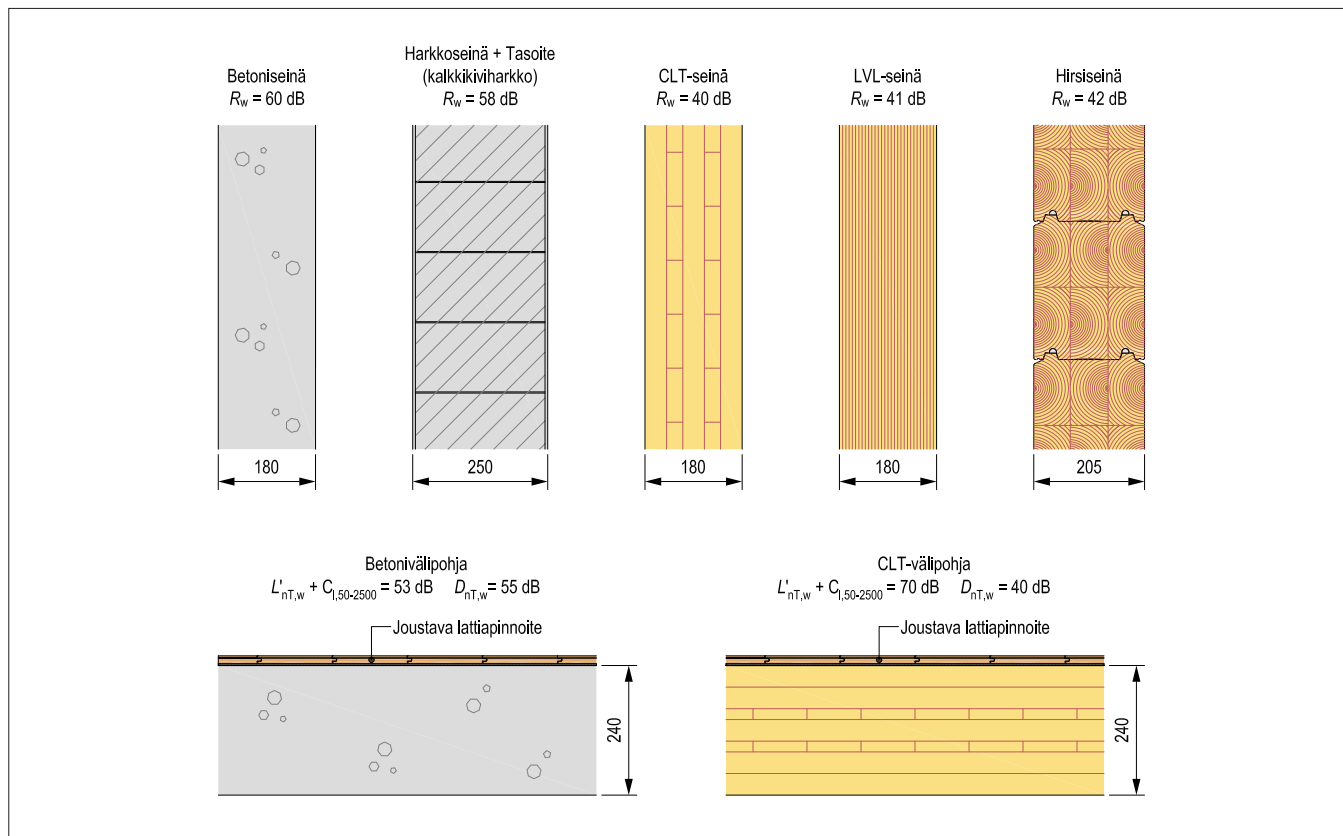
3.2 YKSINKERTAISEN RAKENTEEN ILMÄÄNENERISTÄVYYS

Ilmatiiviin yksinkertaisen rakenteen ilmääneneristävyys perustuu pääasiassa massa- ja jäykkyyteen. Massalain mukaan rakenteen ilmääneneristävyys kasvaa noin 6 dB, kun rakenteen massa kaksinkertaistuu. Näin tapahtuu myös massalain taajuusalueella (kuva 19), kun tarkasteltava äänentaajuus kaksinkertaistuu. Edel-

lisistä johtuen rakenteen massan lisääminen on hyvin tehokas keino yksinkertaisen rakenteen ilmääneneristävyyden parantamiseen.

Betonirakenteen, jonka massa on $\geq 300 \text{ kg/m}^2$, koinsidenssin rajataajuus on hyvin pieni (kuva 19). Tällaisen betonirakenteen ilmääneneristävyys kasvaa koinsidenssin rajataajuuden yläpuolella hyvin tehokkaasti leikkausaaltoalueelle saakka. Leikkausaaltoalueella ilmääneneristävyyden kasvu taajuuden mukaan ei ole enää yhtä voimakasta, koska leikkausaaltojen vaikutus heikentää ilmääneneristävyyttä suurilla taajuuksilla. Erityisesti tämä korostuu betonirakenteilla, joiden massa on $> 500 \text{ kg/m}^2$. Tulee myös ottaa huomioon, että koinsidenssi-ilmiö heikentää betonirakenteen ilmääneneristävyyttä merkittävästi, kun rakenteen massa $< 300 \text{ kg/m}^2$.

CLT-levyn lamellirakenne on erilainen levyn eri suunnissa, joten CLT-levyllä on kaksi koinsidenssin rajataajuutta. Kuvasta 19 olevasta CLT-rakenteesta havaitaan kuinka koinsidenssin rajataajuudet heikentävät ilmääneneristävyys, mutta niiden yläpuolella ilmääneneristävyys kasvaa hyvin tehokkaasti leikkausaaltoalueelle saakka. Puurakenteen alhaisesta massasta ja jäykkyydestä joh-



Kuva 18. Esimerkkejä yksinkertaisista rakenteista.

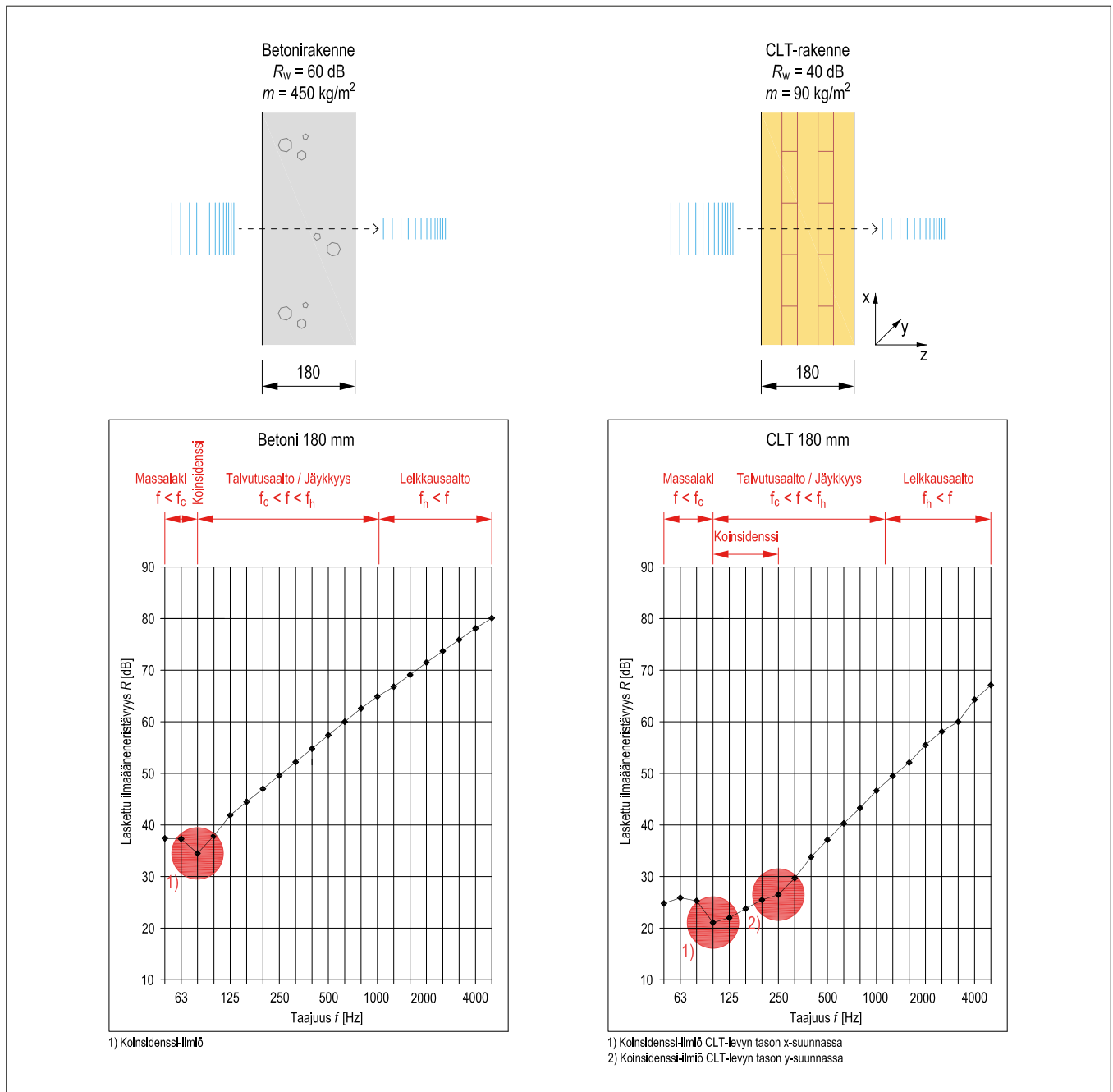
tuen sen ilmäneristävyyden on kuitenkin taajuuskaistoittain merkittävästi alhaisempi verrattuna vastaan paksuiseen betonirakenteeseen. Jotta massiivisella puurakenteella voitaisiin saavuttaa samanlainen ilmäneristävyyden kuin 180 mm paksulla betonirakenteella, tulisi puurakenteen olla paksuudeltaan lähes 600 mm.

3.3 YKSINKERTAISEN RAKENTEEN ASKELÄÄNERISTÄVYYS

Ilmatiiviin yksinkertaisen rakenteen askelääneristävyyden perustuu pääasiassa sen massa, jäykkyyteen ja joustavaan lattiapinnoit-

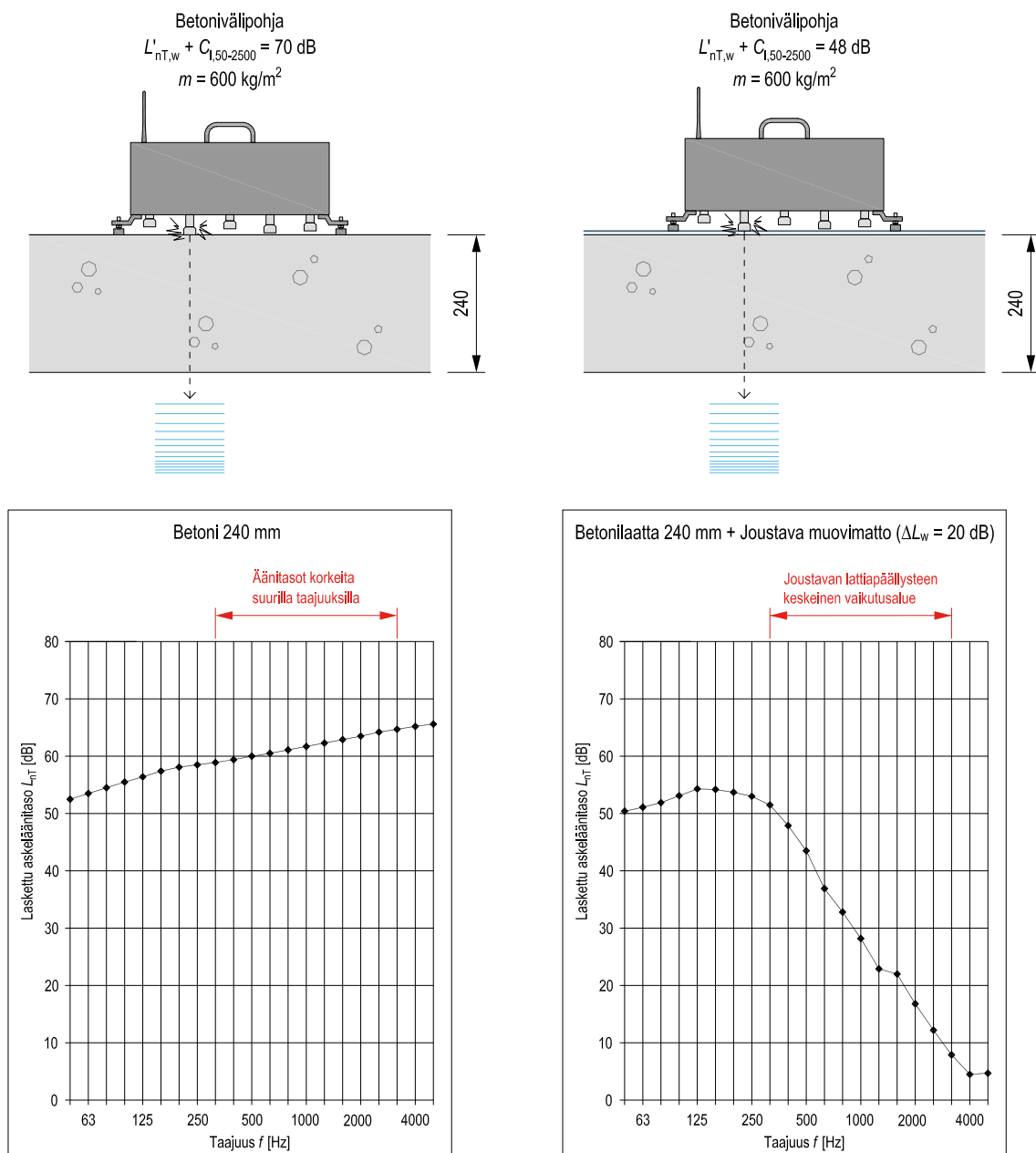
teeseen. Yksinkertaisen betonivälipohjan tuottamat askelääneristävät ovat pienillä taajuuksilla alhaisia, mutta suurilla taajuuksilla askelääneristävät kasvavat (kuva 20). Tästä johtuen yksinkertaisen betonivälipohjan päällä tarvitaan tavallisesti joustava lattiapinnoite tai kelluva pintalaatta alentamaan askelääneristävyyden suurilla taajuuksilla (kuva 20).

Joustavan lattiapinnoitteen yhteydessä, tulee tarkastella lattiapinnoitteen askelääneristävyyden parannuslukua ΔL_w . Kyseinen luku ilmoittaa kuinka paljon lattiapinnoite alentaa välipohjan askelääneristävyyden. Esimerkiksi joustavalla muovimatolla ja kelluvalla lautaparketilla (joustava aluskerros) $\Delta L_w = 18 \dots 20$ dB.



Kuva 19. Esimerkkejä yksinkertaisen rakenteen ilmäneristävyyden muodostumisesta.

RAKENNUSOSIEN AKUSTINEN TOIMINTA



Kuva 20. Esimerkkejä yksinkertaisen välipohjarakenteen askelääneneristävyyden muodostumisesta.

3.4 KAKSINKERTAINEN RAKENNE

Kuvasta 18 havaitaan, että yksinkertaisilla massiivisilla puurakenteilla ei useinkaan pystytä saavuttamaan riittävää ääneneristävyyttä. Tästä johtuen ääntä eristävistä puurakenteisista rakennusosasta tulee lähes aina muodostaa akustisesti kaksinkertainen rakenne. Tämä pätee sekä seinä- että välipohjarakenteille.

Akustisesti rakenne on kaksinkertainen, kun se on koostuu kahdesta levymäisestä massasta (m_1 ja m_2) sekä näiden välissä olevasta ilmvälisestä (k). Kaksinkertaisen rakenteen ilmväliä kutsutaan jouseksi, jonka toiminta on riippuvainen ilmvälän paksuudesta. Ilmväli toimii jousena, kun sen paksuus on suurempi kuin rakenteeseen kohdistuvan äänen aallonpituus. Mitä löysempi jousi on, sitä vähemmän se siirtää värähtelyä levymäisten massojen m_1 ja m_2 välillä ja sitä parempi on rakenteen ilmaääneneristävyys. Toisin sanoen ohut ilmväli ei toimi jousena, vaan se kytkee levymäiset massat toisiinsa, jolloin rakenteen ilmaääneneristävyys heikkenee.

Levymäiset massat voivat olla kiinni samassa rungossa (rankarunko), jolloin massat ovat mekaanisesti kytkeytyneet toisiinsa rungon välityksellä. Tällaisella rakenteella ei saavuteta merkittävää ilmaääneneristävyyttä, johtuen edellä mainitusta mekaanisesta kytkennästä.

Ideaalinen kaksinkertainen rakenne on sellainen, jossa levymäiset massat ovat täysin erillään toisistaan (kaksoisrunko) ja massat kytkeytyvät toisiinsa vain niiden välillä olevan suuren ilmvälän (k) välityksellä. Tällainen rakenne on ideaalinen massa-ilma-massa-systeemi, jolla voidaan saavuttaa erittäin tehokas ilmaääneneristävyyden kasvu systeemin resonanssitaajuuden yläpuolella, vaikka rakenne on kevyt. Rakennuksessa ei ole kuitenkaan helppoa toteuttaa ideaalista kaksinkertaista rakennetta, koska levymäisten massojen mekaanista kytkentää saattaa esiintyä esimerkiksi rakennusosien liitosalueilla. Samoin joissakin välipohjatyypeissä kantava runko kytkee väistämättä levymäisiä massoja lievästi toisiinsa.

Kaksinkertaisen rakenteen ilmaääneneristävyyden suunnittelu- ja merkityksellisiä tekijöitä ovat seuraavat:

- Levymäisten massojen paino, koinsidenssin rajataajuus ja ilmatiiviyys.
- Massa-jousi-massa-systeemin resonanssitaajuus.
- Levymäisten massojen mekaaninen kytkentä.
- Ilmvälän paksuus (jousen jäykkyys).
- Rakenteellisten sivutiesiirtymien vaikutus.

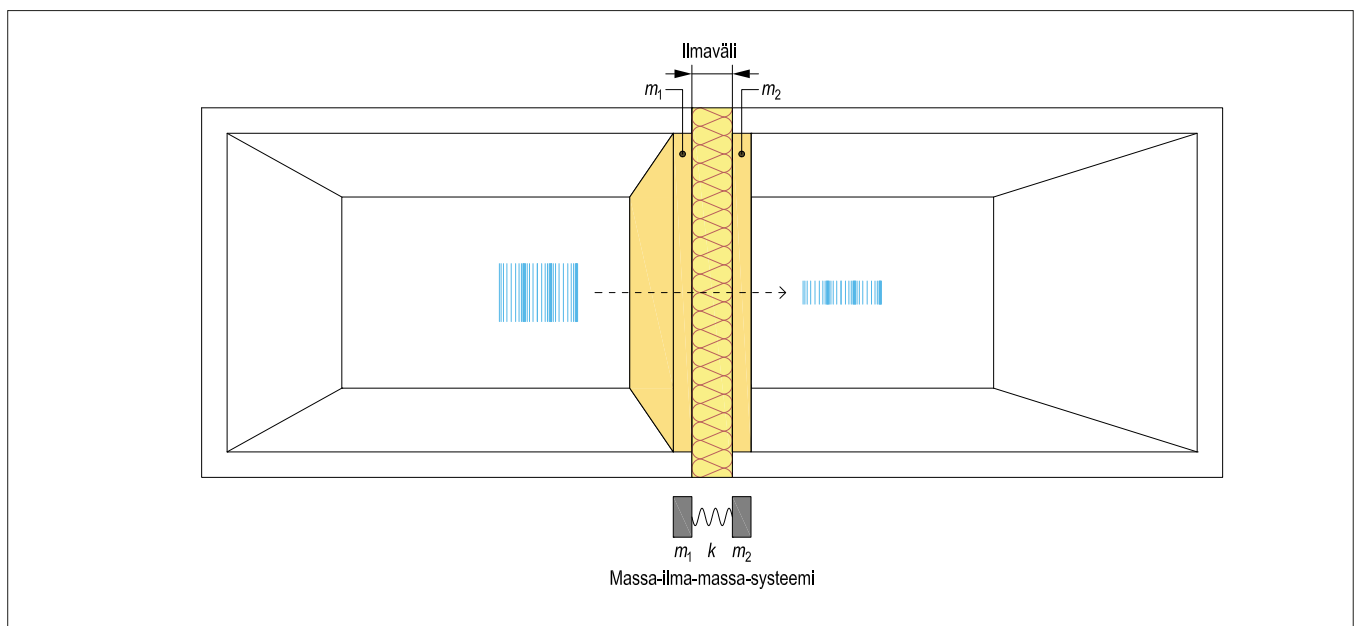
3.5 KAKSINKERTAISEN SEINÄN ILMAÄNENERISTÄVYYS

Kaksinkertainen seinä voidaan toteuttaa rankarakenteisena, massiivipuulevyrakenteisena, hirsirakenteisena tai näiden yhdistelmänä. Puurakenteiset kaksinkertaiset seinät ovat akustisesti näkökulmasta kevyitä levymäisiä rakenteita, vaikka seinä koostuisi massiivipuulevyistä.

3.5.1 Seinän levyjen vaikutus ilmaääneneristävyyteen

Kaksinkertaisen rankaseinän rakennuslevyjen tulisi olla ohuita, jotta levyn koinsidenssin rajataajuus saataisiin mahdollisimman suureksi (kohta 1.4). Tavallisesti kaksinkertaisessa rankaseinässä tarvitaan kaksi rakennuslevykerrosta päällekkäin, jotta levytykseen saadaan riittävästi massaa ilmaääneneristävyyden näkökulmasta. Päällekkäiset levykerrokset tulee kiinnittää mekaanisesti (naulat, ruuvit, hakaset), jotta levyt toimivat koinsidenssin rajataajuuden näkökulmasta itsenäisinä. Päällekkäisiä levykerroksia ei tule liimata toisiinsa, koska tällöin niistä muodostuu yksi paksu levy. Tästä seuraa koinsidenssin rajataajuuden aleneminen ja seinän ilmaääneneristävyyden heikkeneminen.

Kipsilevyt soveltuvat hyvin ääntä eristäviin rakennusosiin, koska niiden koinsidenssin rajataajuus on suuri. Rankaseinissä voidaan kuitenkin käyttää myös puulevyn ja kipsilevyn yhdistelmiä. Kuvassa 23 on esitetty, kuinka rakennuslevyjen tyyppi vaikuttaa kaksinkertaisen rankaseinän ilmaääneneristävyyteen.



Kuva 21. Ideaalisen kaksinkertaisen rakenteen periaate rakennuksessa.

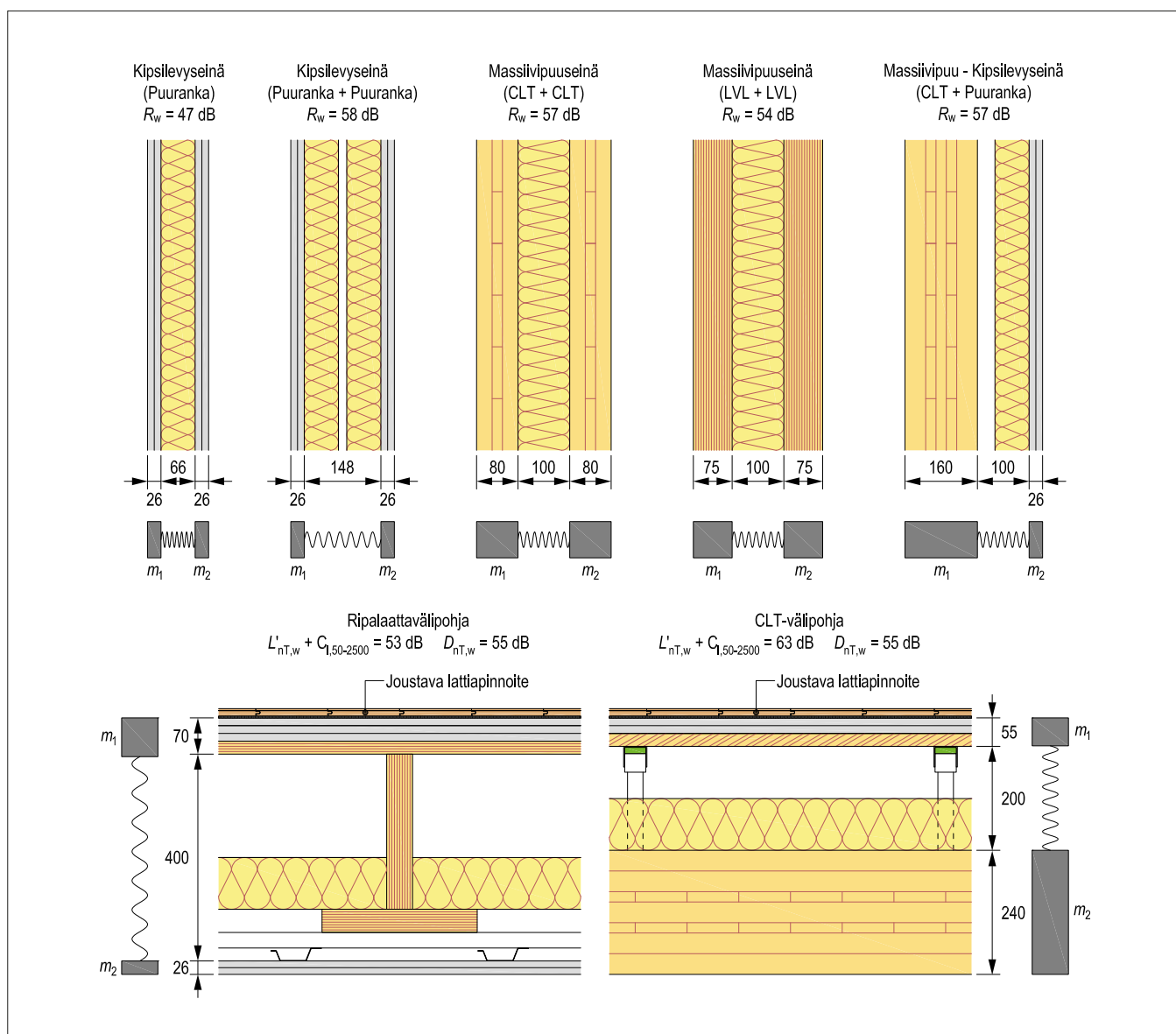
RAKENNUSOSIEN AKUSTINEN TOIMINTA

CLT-levyissä, LVL-levyissä ja vastaavissa massiivipuutuotteissa on paljon massaa, mutta koinsidenssi-ilmiö heikentää kyseisten tuotteiden ilmääneneristävyyttä pienillä taajuuksilla (kuva 24). Massiivipuulevystä koostuvaan kaksinkertaiseen seinään tarvitaankin usein kipsilevytys ilmääneneristävyyden näkökulmasta. Kipsilevytys tuo rakennusosaan lisää massaa ja vähentää koinsidenssi-ilmiön heikentävää vaikutusta ilmääneneristävyyteen (kuva 24). Kyseinen kipsilevytys voidaan asentaa akustisesta näkökulmasta katsoen myös massiivipuulevyn taustapuolelle eli ilmävälin puolelle. Tällöin tulee huolehtia, että suunniteltu ilmäväli (k) toteutuu levyjen välillä (kuva 21).

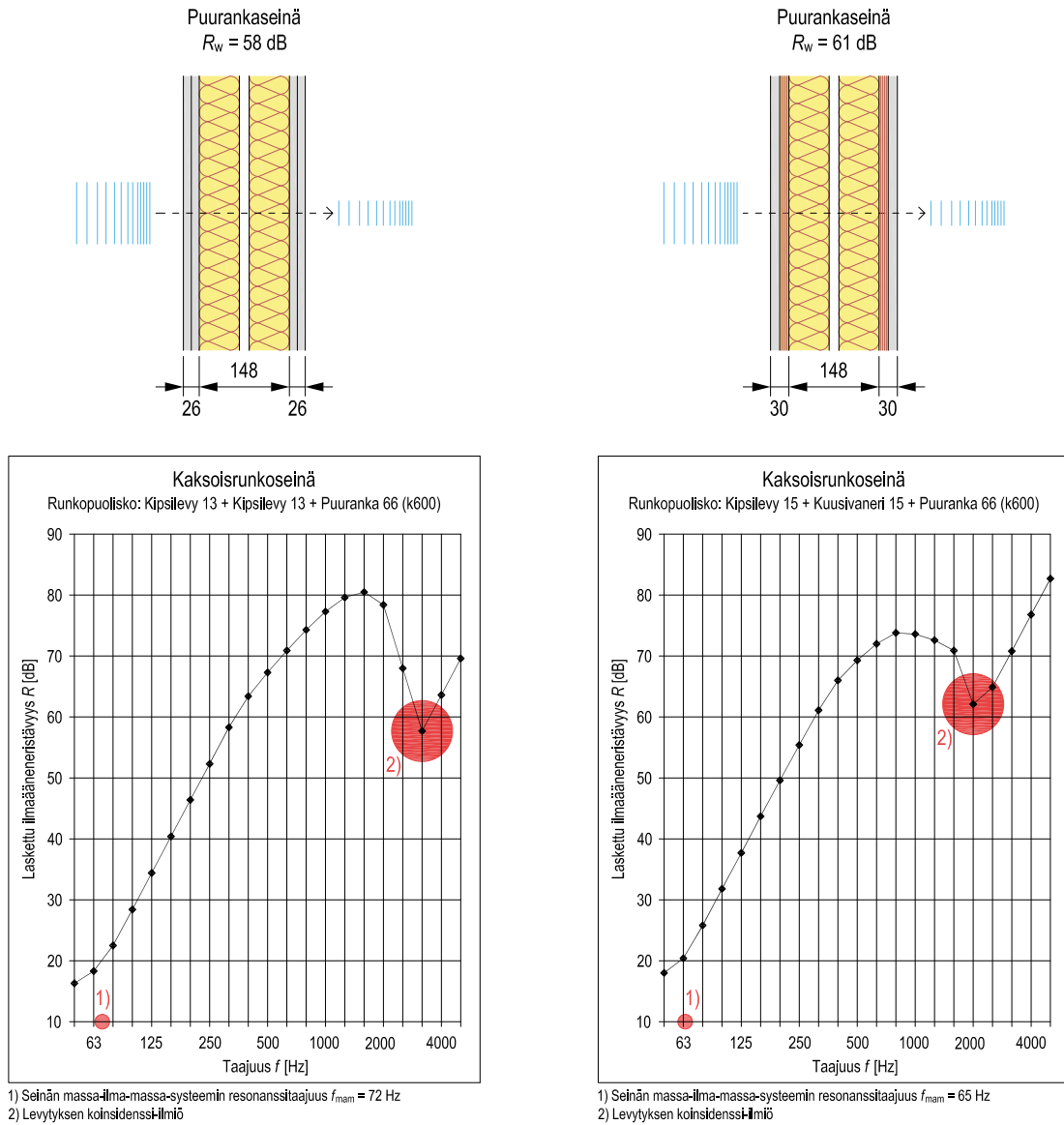
Kuvasta 25 havaitaan, että massiivipuulevyjen paksuuden lisääminen ei ole tehokas keino massiivipuulevystä koostuvan kaksinkertaisen seinän ilmääneneristävyyden parantamiseen. Kaksin-

kertaiset massiivipuुरakenteet tulisi toteuttaa siten, että käytetään ohuita rakennekerroksia, joiden välissä on suuri ilmäväli. Tällaisen paksujen huoneistojen välisten seinien toteuttaminen on nykyisin mahdollista, koska niistä lasketaan rakennusoikeuteen vain 200 mm. Tulee myös ottaa huomioon, että rakenteen kantavuuden näkökulmasta tarvitaan riittävän paksu massiivipuutuote.

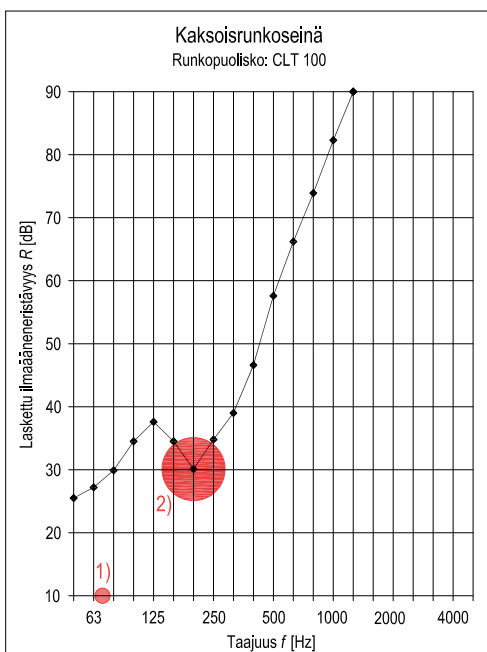
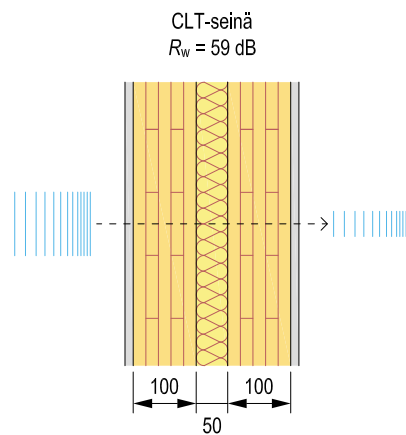
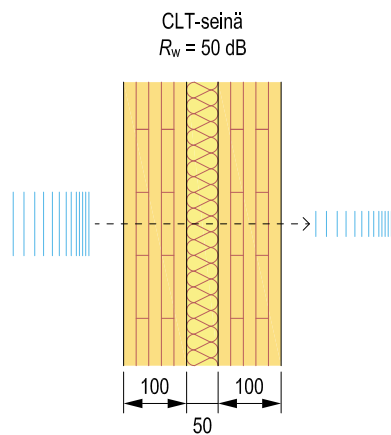
Massiivipuुरakenteisten seinien ilmääneneristävyyttä voidaan parantaa myös tekemällä seinän toiselle puolelle erillinen levypin-tainen rankaseinä, jolloin rakennusosasta muodostuu kaksinkertainen rakenne. Tällöin seinä ei ole molemmin puolin samannäköinen, mutta hyvällä tilasuunnittelulla myös kyseisten seinien käyttö on mahdollista. Rankaseinän rankarunko voi olla kiinni massiivipuuseinässä, mutta tällöin seinän ilmääneneristävyys heikkenee merkittävästi (kuvat 27 ja 28).



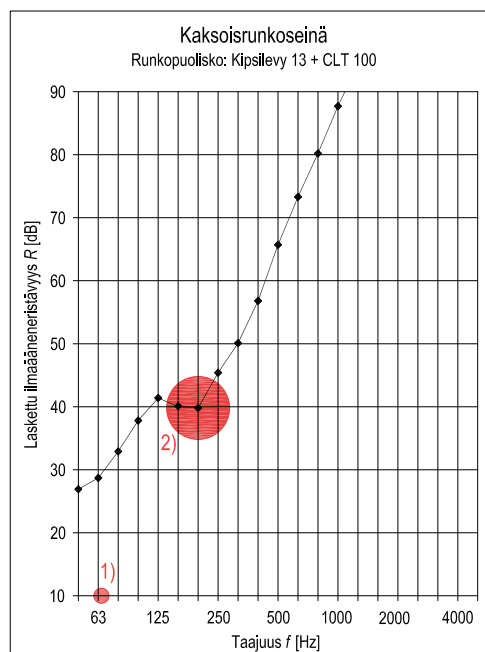
Kuva 22. Esimerkkejä kaksinkertaisista puurakenteista.



Kuva 23. Esimerkki levytyyppien vaikutuksesta kaksinkertaisen rankaseinän ilmaääneneristävyyteen.

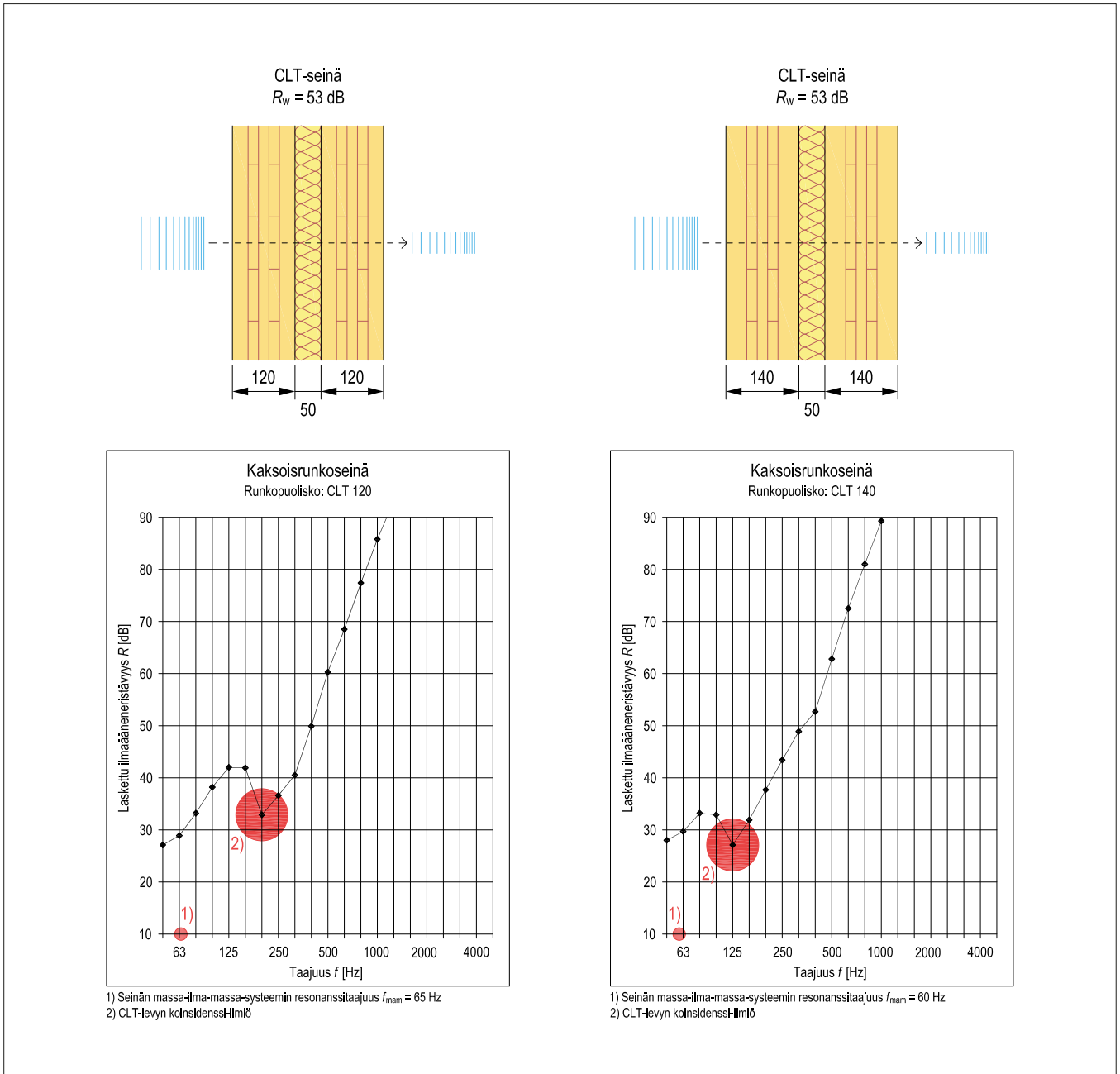


- 1) Seinän massa-ilma-massa-systeemin resonanssitaajuus $f_{\text{mam}} = 72$ Hz
2) CLT-levyjen koinvidenssi-ilmiö



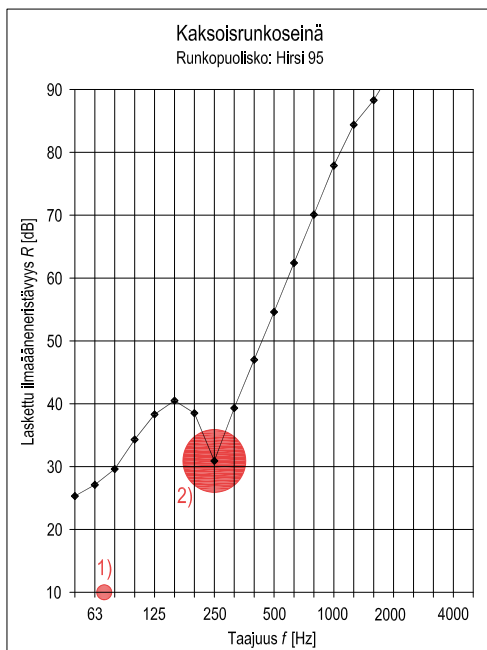
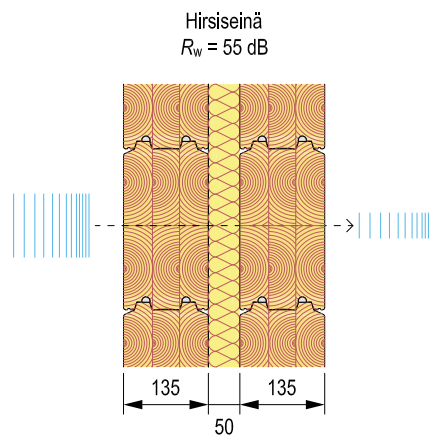
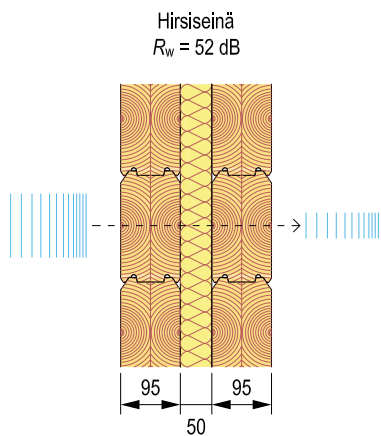
- 1) Seinän massa-ilma-massa-systeemin resonanssitaajuus $f_{\text{mam}} = 66$ Hz
2) CLT-levyjen koinvidenssi-ilmiö

Kuva 24. Esimerkki kipsilevyn vaikutuksesta kaksinkertaisen CLT-seinän ilmääneneristävyyteen (koskee myös LVL-seinää).

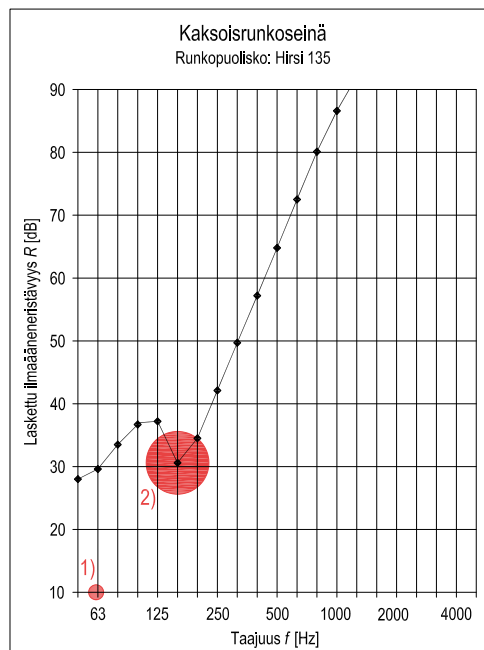


Kuva 25. Esimerkki CLT-levyn paksuuden vaikutuksesta kaksinkertaisen CLT-seinän ilmaääneneristävyyteen (koskee myös LVL-seinää).

RAKENNUSOSIEN AKUSTINEN TOIMINTA

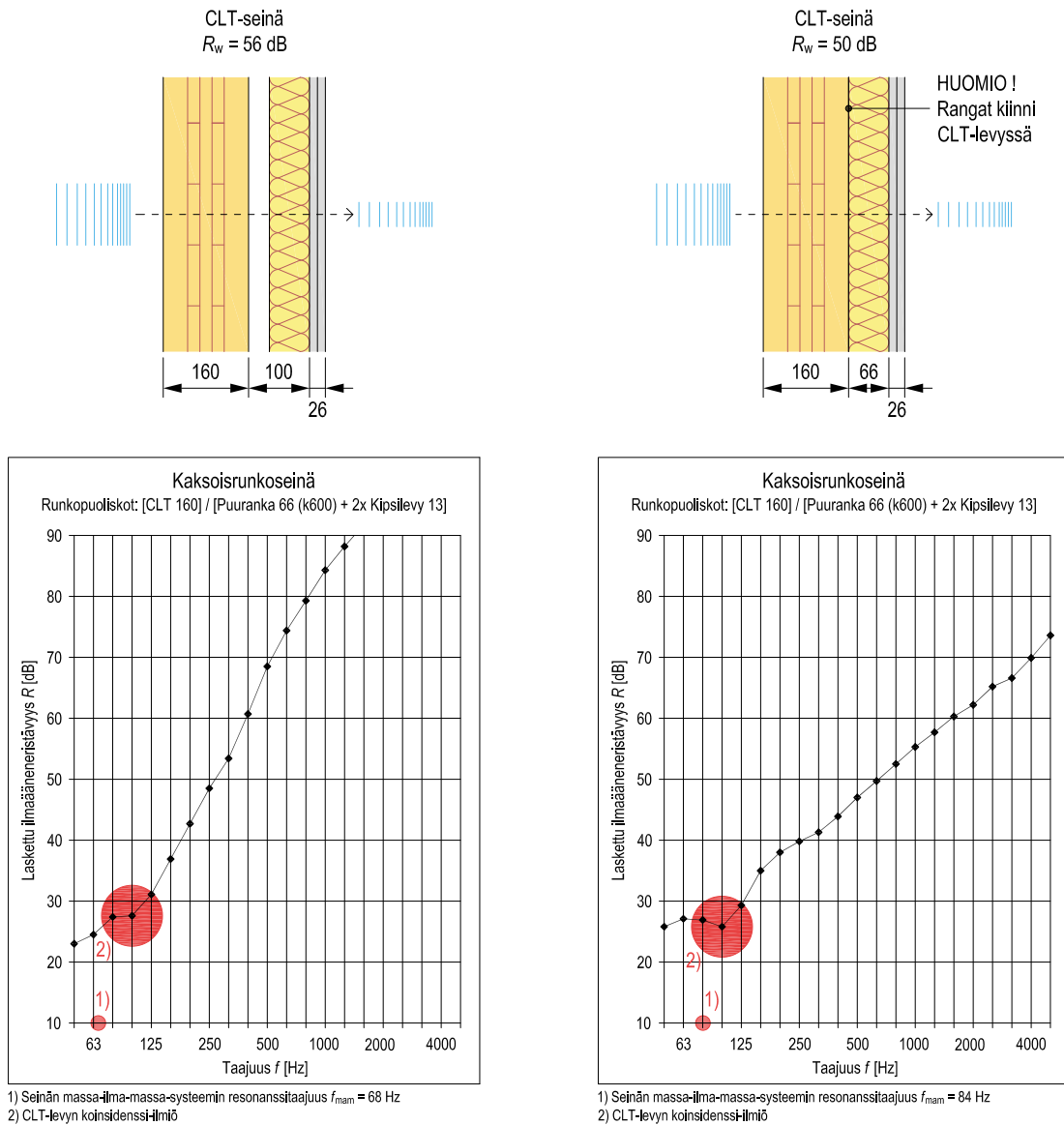


- 1) Seinän massa-ilma-massa-systeemin resonanssitaajuus $f_{\text{mam}} = 73 \text{ Hz}$
2) Hirsiseinän koinsidenssi-ilmiö

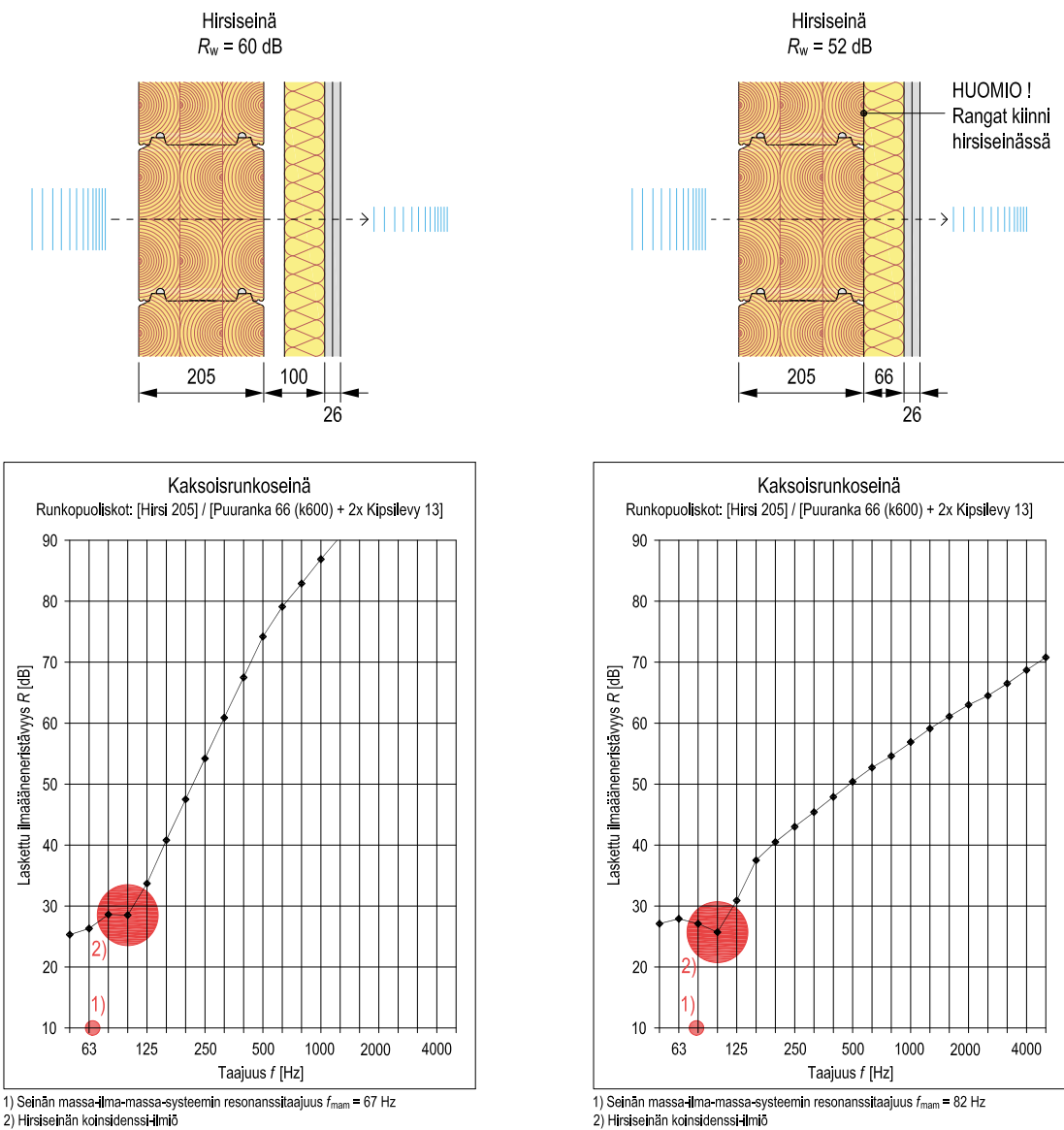


- 1) Seinän massa-ilma-massa-systeemin resonanssitaajuus $f_{\text{mam}} = 62 \text{ Hz}$
2) Hirsiseinän koinsidenssi-ilmiö

Kuva 26. Esimerkki hirren paksuuden vaikutuksesta kaksinkertaisen hirsiseinän ilmapääeneristävyyteen.



Kuva 27. Esimerkki rankarungon kiinnityksen vaikutuksesta kaksinkertaisen CLT-seinän ilmaääneneristävyyteen (koskee myös LVL-seinää).



Kuva 28. Esimerkki rankarungon kiinnityksen vaikutuksesta kaksinkertaisen hirsiseinän ilmääneneristävyyteen.

3.5.2 Kaksinkertaisen rankaseinän ohjauspuiden vaikutus ilmapääneneristävyyteen

Käytännössä kantavissa kaksinkertaisissa rankaseinissä saatetaan joutua käyttämään hyvinkin järeitä rankoja. Seinän paksuus halutaan kuitenkin usein pitää mahdollisimman ohuena, joten järeiden rankojen tapauksessa joudutaan käyttämään niin sanottua *siksak*-runkoa. Tällaisessa rungossa rangat limittyvät seinän paksuuden suunnassa. *Siksak*-rungon järeiden rankojen liittymisen periaate on esitetty kuvan 30 oikeanpuoleisessa rakennetyypissä. Rankojen koon kasvaessa kasvaa myös niiden jäykkyys, mutta tämän vaikutusta kaksinkertaisen rankaseinän ilmapääneneristävyyteen voidaan pitää lähes merkityksettömänä.

Siksak-runkoa käytettäessä tulee huolehtia, että runkopuolisko-kojen järeät rangat eivät kytke runkopuoliskoja toisiinsa ohjauspuiden välityksellä. Näin tapahtuu, jos järeä ranka tukeutuu molempiin erillisiin rinnakkain oleviin ohjauspuihin. Tällöin seinän ilmapääneneristävyys heikkenee merkittävästi. Liitteessä 1 *Rakennetyypit* on esitetty kuinka *siksak*-rungon ala- ja yläohjauspuut toteutetaan siten, että runkopuoliskot eivät kytkeydy toisiinsa.

Kaksinkertaisessa rankaseinän tukipainekestävyyden ja seinän elementoinnin näkökulmasta olisi edullista, että seinässä voitaisiin käyttää koko seinäontelon levyistä yhtä ohjauspuuta, johon molempien runkopuolisko-kojen rangat kiinnitetään. Tällöin runkopuoliskot kytkeytyvät hyvin voimakkaasti toisiinsa ja seinän ilmapääneneristävyys heikkenee todella merkittävästi (kuva 30). Kytkenään heikentävää vaikutusta voidaan kompensoida lisäämällä levytyksen massaa ja/tai suurentamalla levyjen välistä ilmapäliä (*k*). Edellä mainitut menetelmät johtavat kuitenkin hyvin paksuihin seinärakenteisiin, mikäli halutaan täyttää asuinrakennuksen ilmapääneneristävyyksivaatimus. Kaksinkertaisen seinän runkopuolisko-kojen kytkentää seinän reuna-alueilla on käsitelty tarkemmin kohdassa 3.5.5.

3.5.3 Seinän ontelon täytteen vaikutus ilmapääneneristävyyteen

Kaksinkertaisen seinän tyhjässä ilmapäliässä (ontelossa) syntyy ilman ominaisvärähtelyä. Seinän ilmapäliässä ääni heijastuu levy-
mäisten pintojen välillä, jolloin pintojen välille syntyy voimakkaita

seisovia ääniaaltoja ilman ominaisvärähtelyiden alimmilla ominaistajuuksilla ja näiden monikerroilla. Käytännössä ääni kaikuu tyhjässä ilmapäliässä, jolloin seinän ilmapääneneristävyys heikkenee. Kaksinkertaisen seinän ilmapälin ominaisvärähtelyiden ominaistajuu-
det ovat pieniä seinän pituus- ja korkeussuunnassa ja suuria seinän paksuussuunnassa, joten ilmapälin kaiunta heikentää seinän ilmapääneneristävyyttä kokonaisvaltaisesti taajuusalueella 100...3150 Hz (mittausalue).

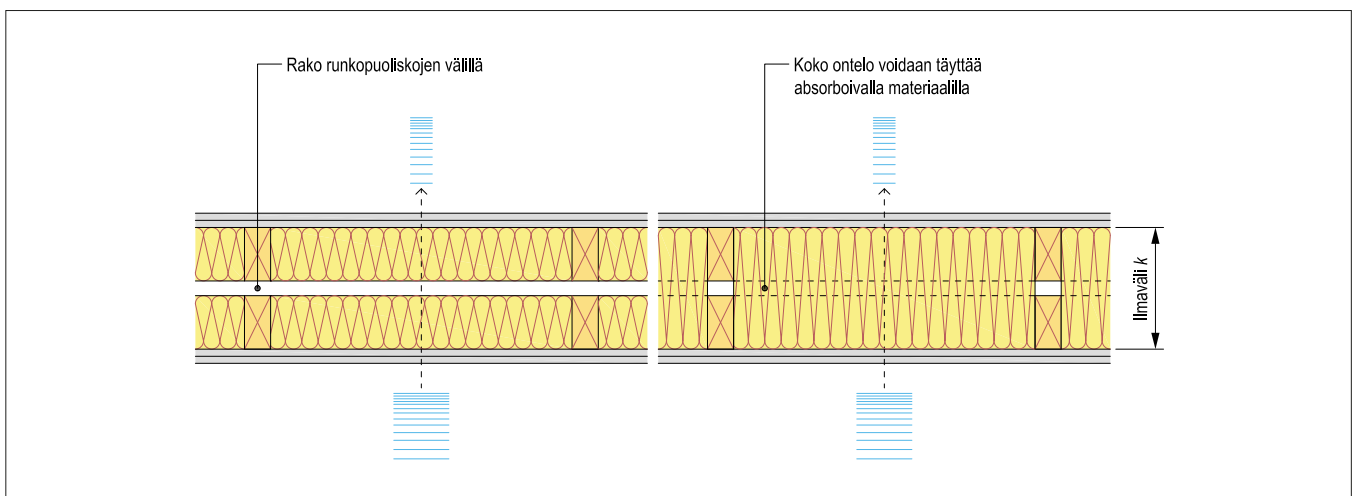
Ilmapälin kaiunnan estämiseksi kaksoisrunkoseinän ilmapäliässä tulee olla ääntä absorboivaa materiaalia (absorptiosuhde suu-
rilla taajuuksilla 0,8...0,9) vähintään puolet ilmapälin paksuudesta. Absorboivassa materiaalikerroksessa saa olla rakoja yms. epäjatkuvuuskohtia. Tavallisesti absorboivana materiaalina käytetään vil-
laa. Materiaalivalinnassa tulee ottaa huomioon myös palotekniset vaatimukset. Kuvassa 31 on esitetty kuinka merkittävä vaikutus ilmapälin absorptiomateriaalilla on kaksinkertaisen seinän ilmapääneneristävyyteen.

3.5.4 Seinän ontelon paksuuden vaikutus ilmapääneneristävyyteen

Kaksinkertaisen seinän ilmapälin (*k*) paksuuden lisääminen pa-
rantaa seinän ilmapääneneristävyyteen merkittävästi (kuvat 32 ja 33). Mitä paksumpi ilmapäli on, sitä vähemmän se kytkee runkopuolisko-
kojen levymäisiä massoja toisiinsa. Rankaseinässä ilmapäli on levy-
pintojen välinen etäisyys ja koko ilmapäli voidaan täyttää absorptiomateriaalilla (kuva 29). Kaksinkertaisen seinän ilmapäliä ei saa katkaista esimerkiksi seinän ontelossa olevalla levytyksellä, koska tällöin seinään muodostuisi useampia ohuita ilmapälejä (*k*). Tästä olisi seurauksena seinän ilmapääneneristävyyden heikkene-
minen.

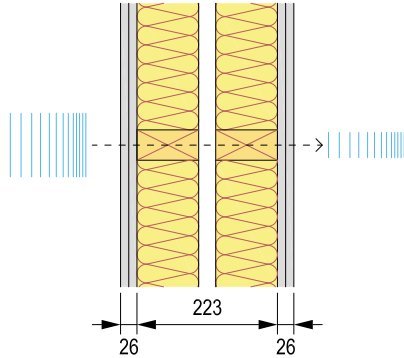
3.5.5 Kaksoisrunkoseinän runkopuolisko-kojen kytkentä

Kaksoisrunkoseinän akustisen toiminnan kannalta on erittäin tärkeää, että runkopuolisko-kojen välillä ei ole kytkentää. Käytännössä tätä ei voida täysin välttää, sillä seinän liitosalueilla esiintyy jon-
kinasteista kytkentää. Taulukoissa 5 ja 6 on esitetty erilaisten kyt-
kentöjen vaikutus kaksinkertaisen seinän ilmapääneneristävyyteen.

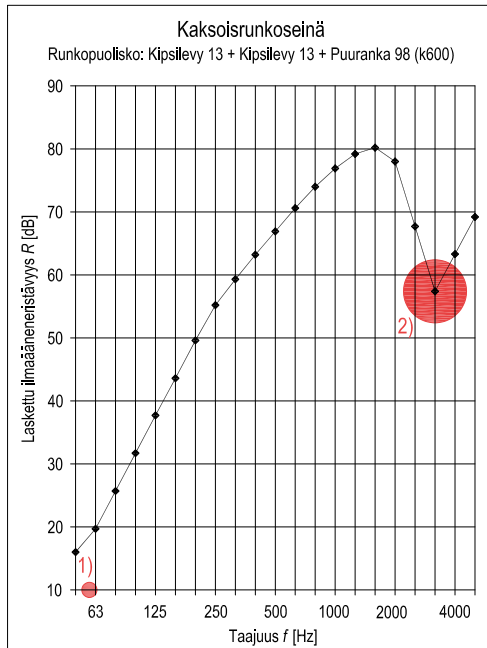
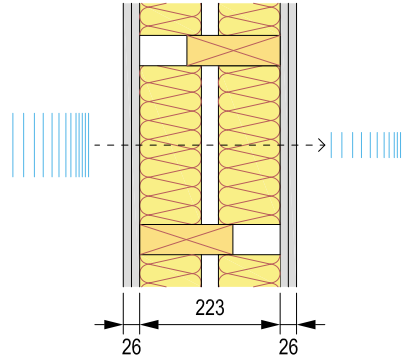


Kuva 29. Rankaseinän ilmapäli.

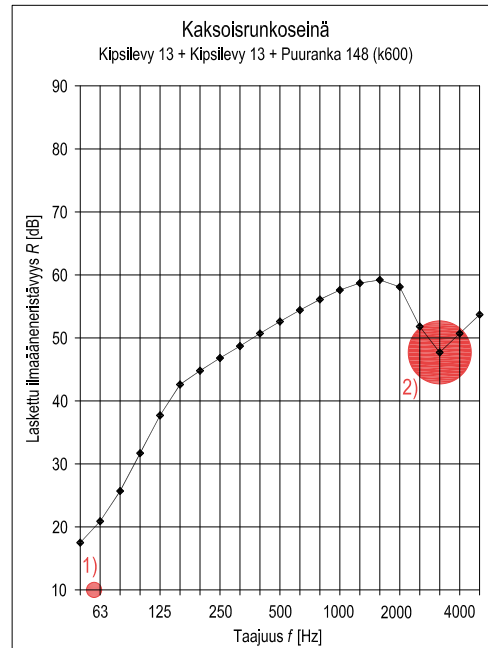
Puurankaseinä (vaakaleikkaus)
 $R_w = 61 \text{ dB}$



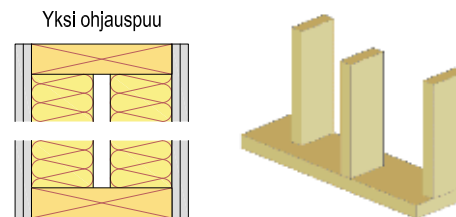
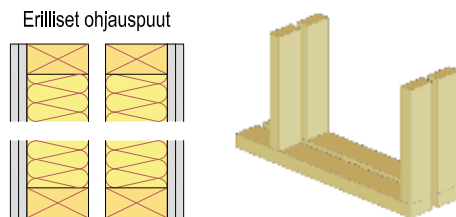
Puurankaseinä (vaakaleikkaus)
 $R_w = 54 \text{ dB}$



- 1) Seinän massa-ilma-massa-systeemin resonanssitaajuus $f_{\text{res}} = 59 \text{ Hz}$
2) Levytyksen koinsidenssi-ilmiö

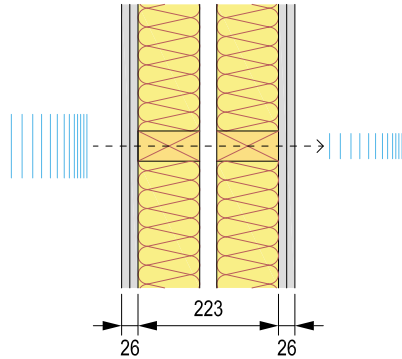


- 1) Seinän massa-ilma-massa-systeemin resonanssitaajuus $f_{\text{res}} = 59 \text{ Hz}$
2) Levytyksen koinsidenssi-ilmiö

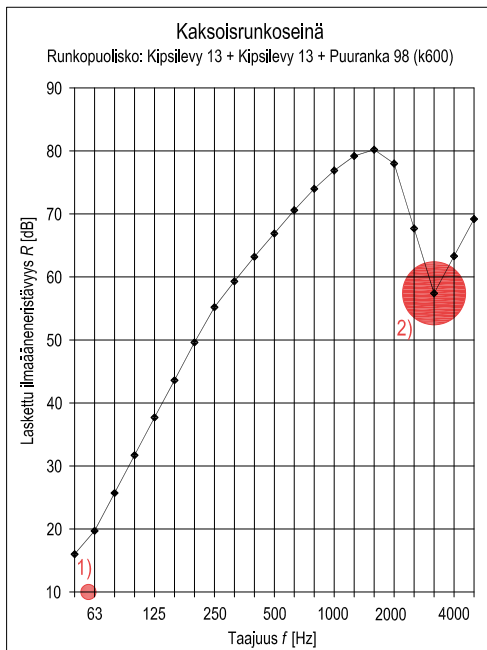
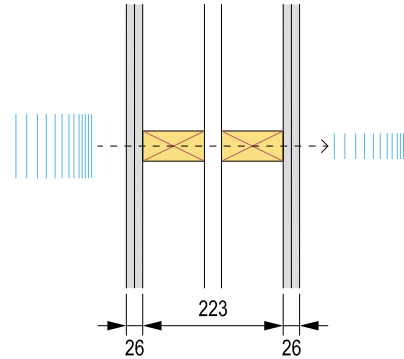


Kuva 30. Esimerkki ohjauspuiden välityksellä tapahtuvan kytkennän vaikutuksesta kaksinkertaisen rankaseinän ilmääneneristävyyteen.

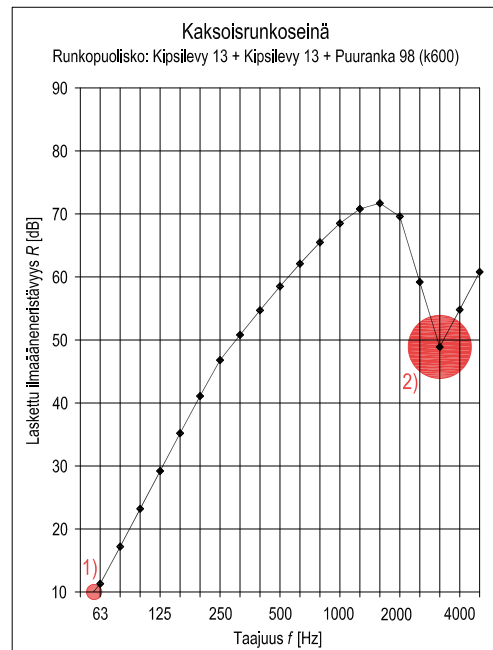
Puurankaseinä (vaakaleikkaus)
 $R_w = 61 \text{ dB}$



Puurankaseinä (vaakaleikkaus)
 $R_w = 52 \text{ dB}$



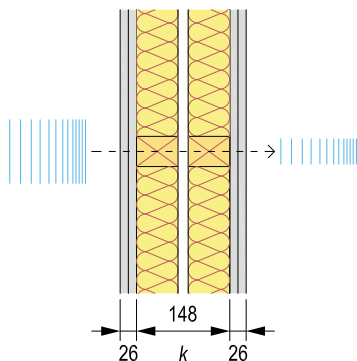
- 1) Seinän massa-ilma-massa-systeemin resonanssitaajuus $f_{\text{mam}} = 59 \text{ Hz}$
 2) Levytyksen koinvidenssi-ilmiö



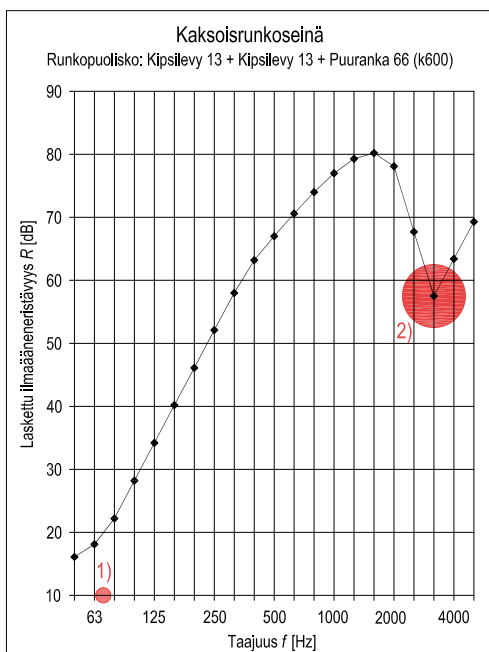
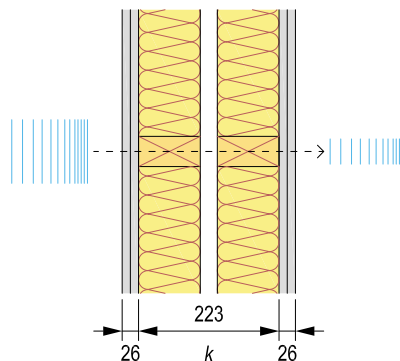
- 1) Seinän massa-ilma-massa-systeemin resonanssitaajuus $f_{\text{mam}} = 59 \text{ Hz}$
 2) Levytyksen koinvidenssi-ilmiö

Kuva 31. Esimerkki ilmapölyn absorptiomateriaalin vaikutuksesta kaksinkertaisen rankaseinän ilmaääneneristävyyteen.

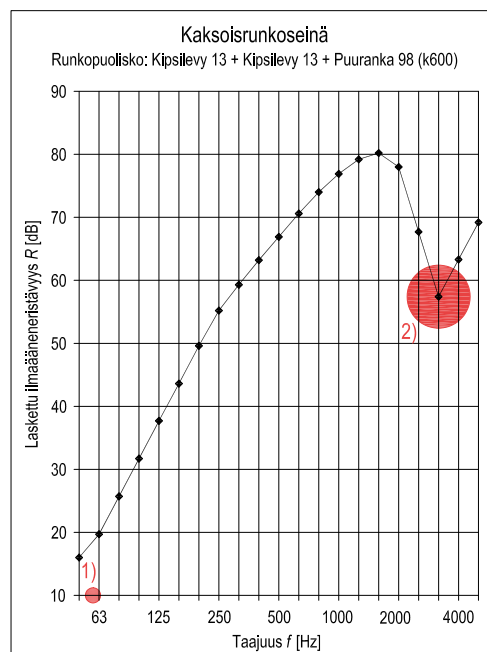
Puurankaseinä (vaakaleikkaus)
 $R_w = 58$ dB



Puurankaseinä (vaakaleikkaus)
 $R_w = 61$ dB

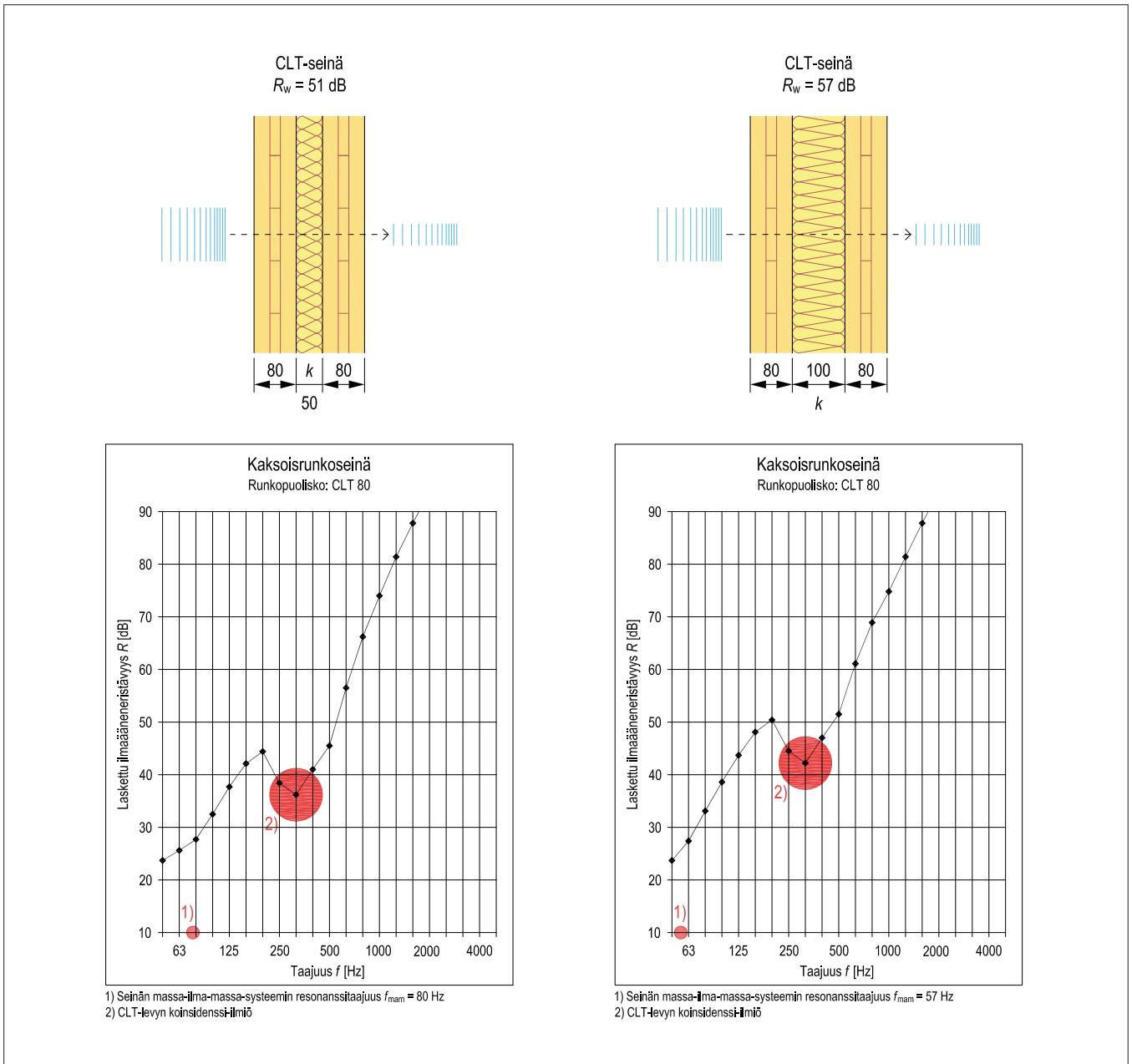


- 1) Seinän massa-ilma-massa-systeemin resonanssitaajuus $f_{\text{res}} = 72$ Hz
2) Levytyksen koinsidenssi-ilmiö



- 1) Seinän massa-ilma-massa-systeemin resonanssitaajuus $f_{\text{res}} = 59$ Hz
2) Levytyksen koinsidenssi-ilmiö

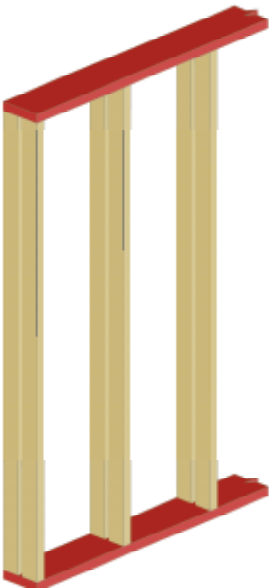
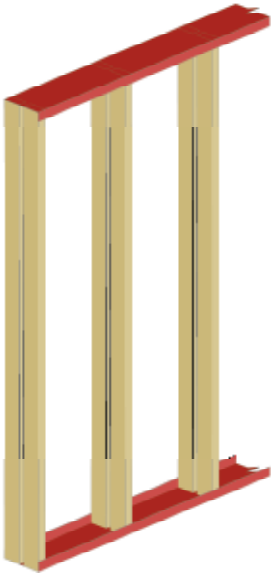
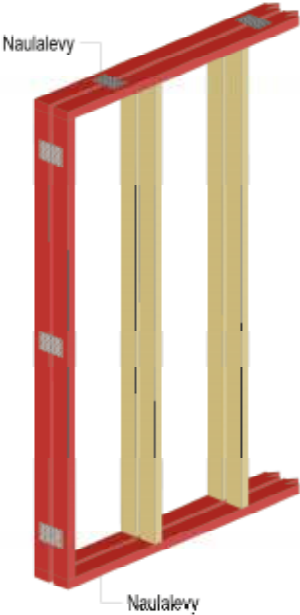
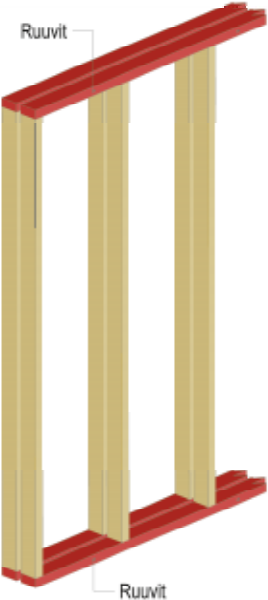
Kuva 32. Esimerkki ilmvälän paksuuden vaikutuksesta kaksinkertaisen rankaseinän ilmaääneneristävyyteen.



Kuva 33. Esimerkki ilmvälön paksuuden vaikutuksesta kaksinkertaisen CLT-seinän ilmaääneneristävyyteen (koskee myös LVL-seinää).

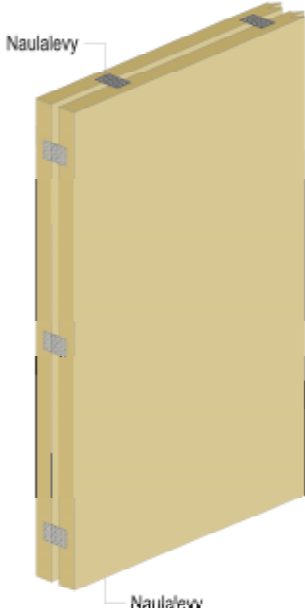
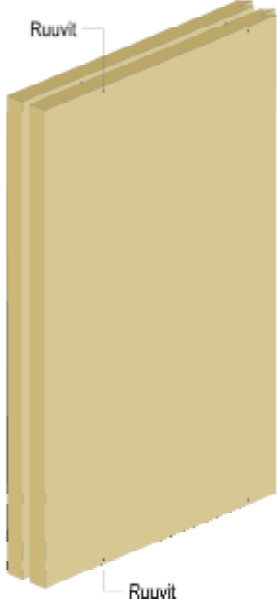
RAKENNUSOSIEN AKUSTINEN TOIMINTA

Taulukko 5. Rankarakenteisen kaksoisrunkoseinän reunojen kytkennän vaikutus ilmaääneneristävyyteen.

Runkopuoliskoilla sama ohjauspuu Puupalkki	$D_{nT,w}$ heikennys - 5...-10 dB	Runkopuoliskoilla sama ohjausranka Peltiranka	$D_{nT,w}$ heikennys - 4...-8 dB ¹⁾
			
Kytkeä ohjauspuissa sekä pystyreunoissa Naulalevy k-jaolla ≥ 1000	$D_{nT,w}$ heikennys - 2...-5 dB	Kytkeä ohjauspuissa Ruuvit k-jaolla ≥ 1000	$D_{nT,w}$ heikennys - 2...-5 dB
			

¹⁾ Riippuu peltirangan jäykyydestä

Taulukko 6. Massiivipuulevyrakenteisen kaksoisrunkoseinän reunojen kytkennän vaikutus ilmaääneneristävyyteen.

Kytkeä ala- ja yläreunassa sekä pystyreunoissa Naulalevy k-jaolla ≥ 1000	$D_{nT,w}$ heikennys vähintään -10 dB	Kytkeä ala- ja yläreunassa Ruuvit k-jaolla ≥ 1000	$D_{nT,w}$ heikennys vähintään -10 dB
			
HUOMIO! Kytkeä heikentävät massiivipuulevyrakenteiden ääneneristävyyttä merkittävästi. Tämän takia massiivipuulevyjen yhteydessä käytetään yleensä tärinäeristimiä.			

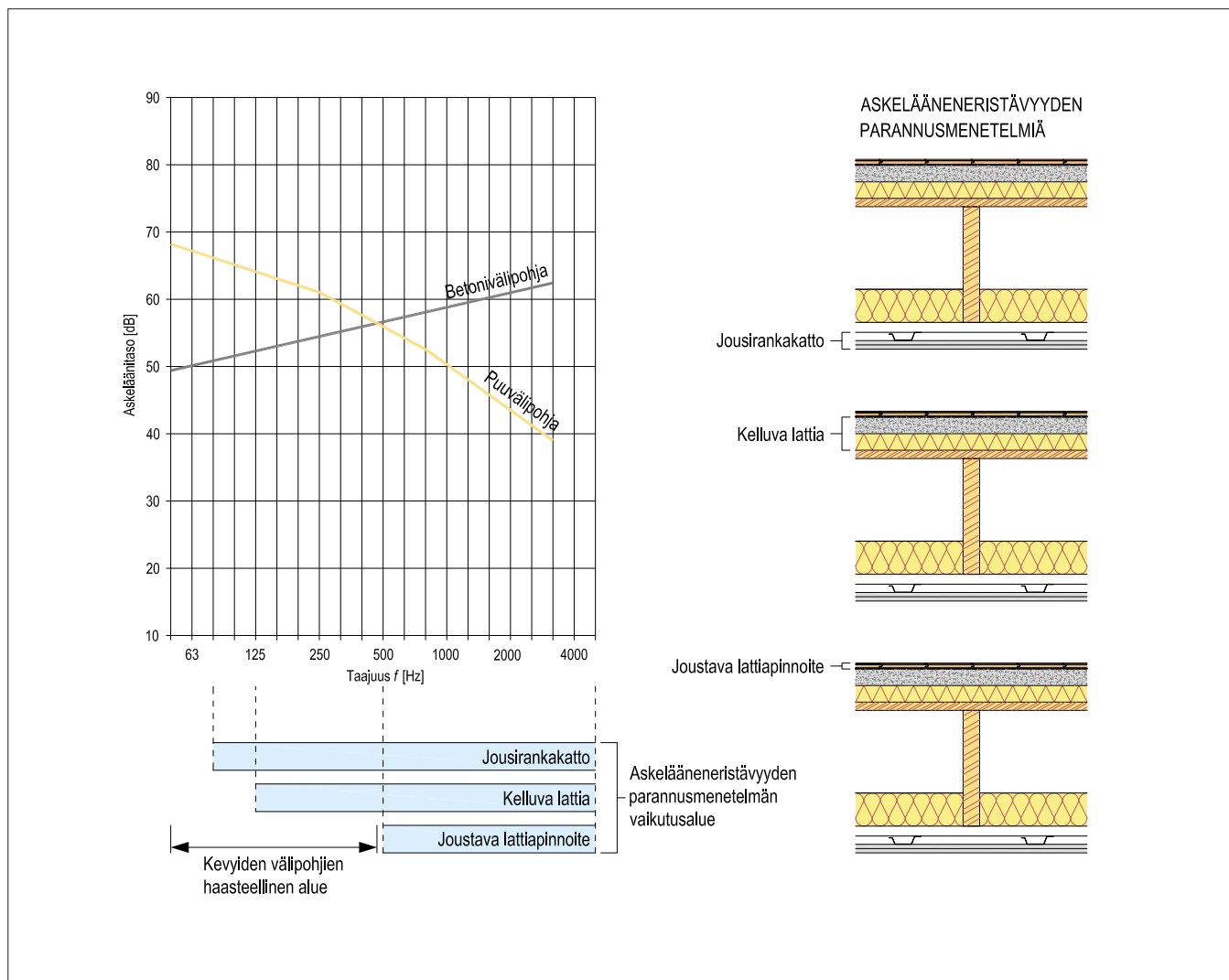
3.6 KAKSINKERTAISEN VÄLIPOHJAN ASKELÄÄNERISTÄVYYS

Välipohjien akustisessa suunnittelussa keskeistä on askelääneristävyyden toteuttaminen. Välipohjan ilmaääneneristävyys ei yleensä ole haaste, kun askelääneristävyyksivaatimukset saadaan täytettyä. Tämä ei kuitenkaan aina pidä paikkaansa massiivipuulevyrakenteisten välipohjien tapauksessa. Ilmaääneneristävyyden näkökulmasta kaksinkertaisessa välipohjassa pätevät samat akustiset seikat, mitä on esitetty kohdassa 3.5 kaksinkertaisen seinän osalta.

Kaksikertainen välipohja voidaan toteuttaa rankarakenteisena, massiivipuulevyrakenteisena, liittorakenteisena tai näiden yhdistelmänä. Puurakenteiset kaksinkertaiset välipohjat ovat akustisesti näkökulmasta kevyitä levyjäisiä rakenteita, vaikka välipohja koostuisi massiivipuulevyistä.

Puuvälipohjan askeläänitasot ovat pienillä taajuuksilla korkeita ja suurilla taajuuksilla matalia (kuva 34). Päälystämättömällä betonivälipohjalla tilanne on päinvastainen. Betonivälipohjan tapauksessa askeläänitasoja voidaan kuitenkin alentaa tehokkaasti suurilla taajuuksilla joustavan lattiapäällysteen avulla. Edellä mainituista akustisista eroista johtuen puu- ja betonivälipohjien askelääneneristävyyden parantamisessa ei voida suoraan käyttää samanlaisia menetelmiä. Esimerkiksi joustava lattiapinnoite ei ole puuvälipohjan tapauksessa yhtä tehokas keino kuin betonivälipohjan tapauksessa.

Puuvälipohjan askelääneneristävyyttä voidaan parantaa tehokkaimmin akustisten jousirankojen varaan asennetun kipsilevykaton avulla (jousirankakatto). Lisäksi puurakenteisissa välipohjissa tarvitaan massaa matalien taajuuksien eristämiseen. Tyypillisesti massanlisäys toteutetaan valulattialla (betoni-, kipsi- tai plaano) tai paksulla kipsilevyllä. Edellä mainitut lattiatyypit voivat olla kelluvia tai kiinteitä.



Kuva 34. Kevyen ja raskaan päällystämättömän välipohjan eroavaisuuksia askelääneneristävyyden näkökulmasta.

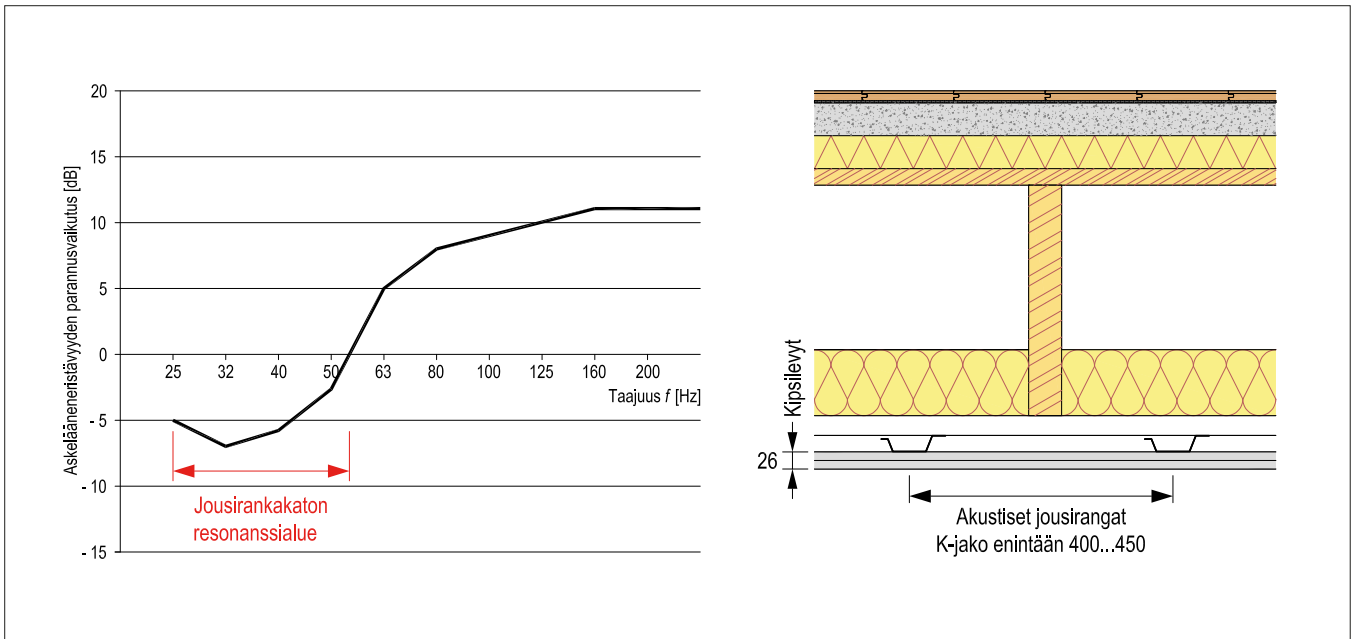
3.6.1 Jousirankakaton vaikutus askelääneneristävyyteen

Akustisten jousirankojen varaan asennettu kipsilevykatto (jousirankakatto) tekee puuvälipohjasta lähes ideaalisen kaksinkertaisen rakenteen, koska kattolevytys saadaan irrotettua akustisesti välipohjan rungosta. Akustiset jousirangat parantavat välipohjan ilma- ja askelääneneristävyyttä merkittävästi ja jousirankakaton parannusvaikutus askelääneneristävyyteen alkaa jo noin 50 Hz:n kohdalta (kuva 35). Mitä joustavampi ja raskaampi jousirankakatto on, sitä parempi ilma- ja askelääneneristävyys saavutetaan.

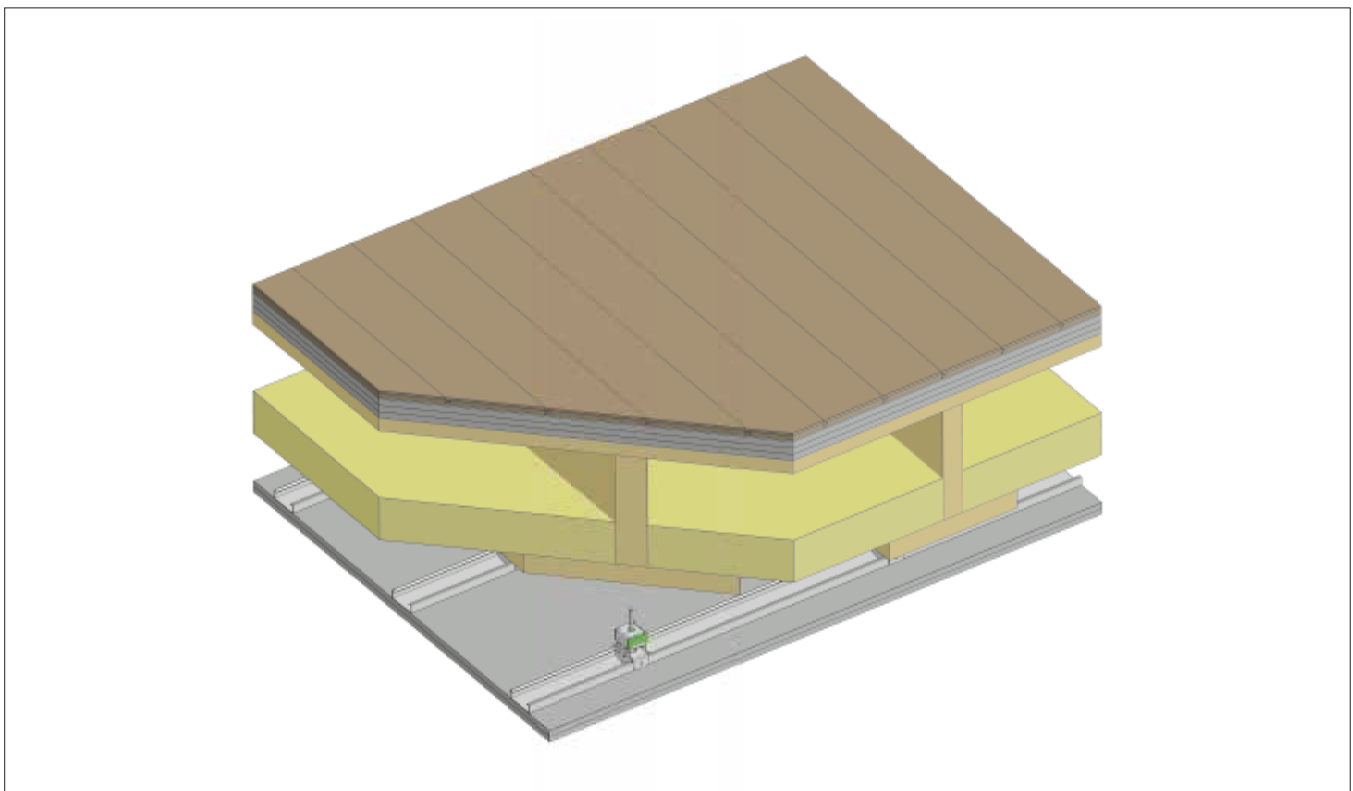
Akustinen jousirankakatto voidaan toteuttaa erilaisilla tähän tarkoitukseen kehitetyillä tuotteilla. Suunnittelussa ja toteutuk-

sessä tulee noudattaa jousiranka- ja kipsilevyvalmistajan ohjeita. Huomiota tulee kiinnittää myös jousirankojen kantokykyyn. Jousirankojen tulee olla irti ympäröivistä rakennusosista, jotta välipohjan ääneneristävyys ei heikkene jousirankojen kytkeytymisen takia. Kuvassa 36 ja 37 on esitetty erilaisia akustisia jousirankoja.

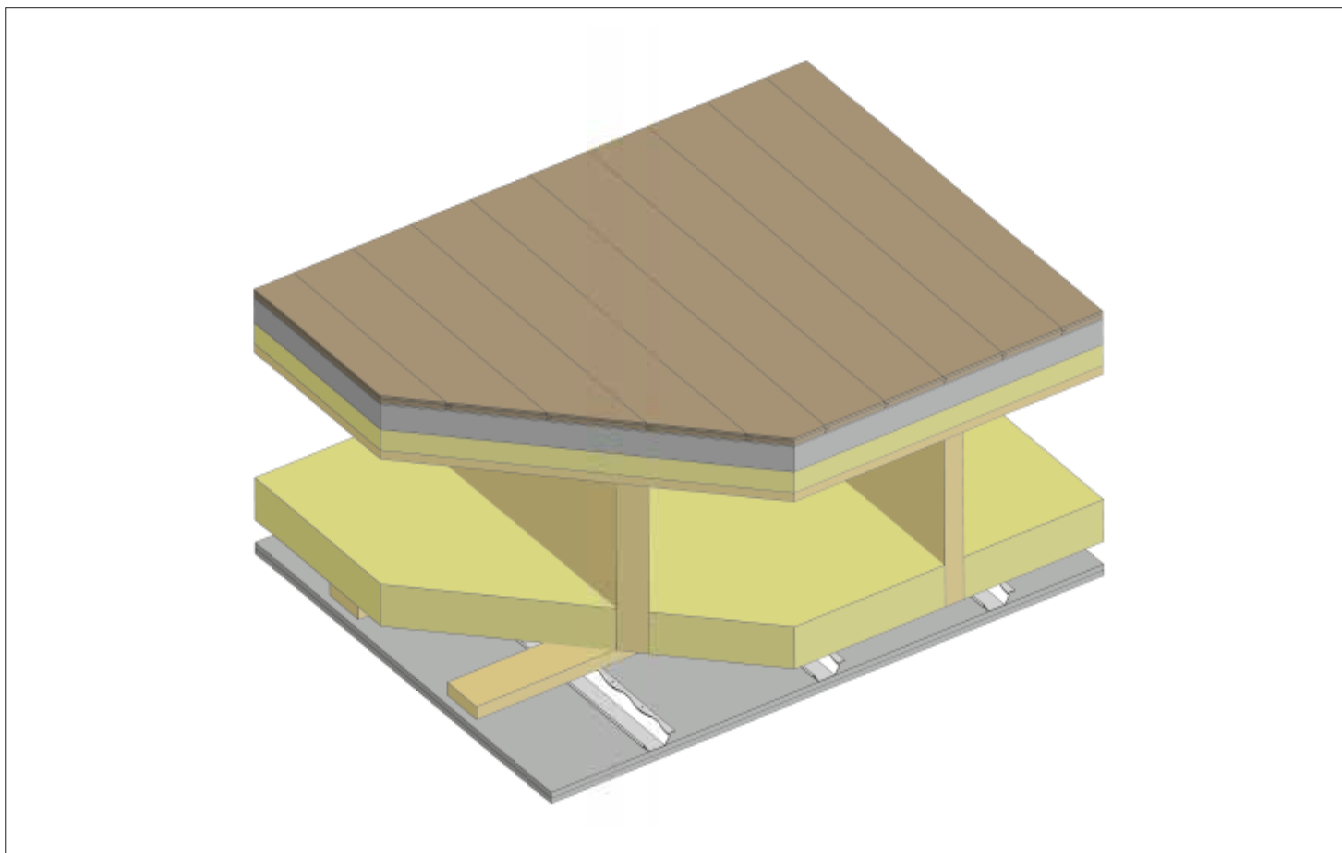
Akustisten jousirankojen toiminnan kannalta on tärkeää, että kipsilevytyksen massa suhteessa jousirankojen joustavuuteen on määriteltä oikein. Tyypillisesti jousirankakatossa on kaksi päällekkäistä kipsilevykerrosta, jotka kiinnitetään ruuveilla. Päällekkäisiä levykerroksia ei tule liimata toisiinsa koinsidensi-ilmiön takia. Kuvasta 40 havaitaan, että jousirankakaton vaikutus välipohjan askelääneneristävyyteen on merkittävä.



Kuva 35. Jousirankakaton parannusvaikutuksen kehittyminen puuväli pohjassa.



Kuva 36. Jousirankakatto toteutettuna tärinäeristimillä varustetuilla akustisilla jousirangoilla.



Kuva 37. Jousirankakatto toteutettuna peltirangasta valmistetuilla akustisilla jousirangoilla.

3.6.2 Kelluvan lattian vaikutus askelääneneristävyyteen

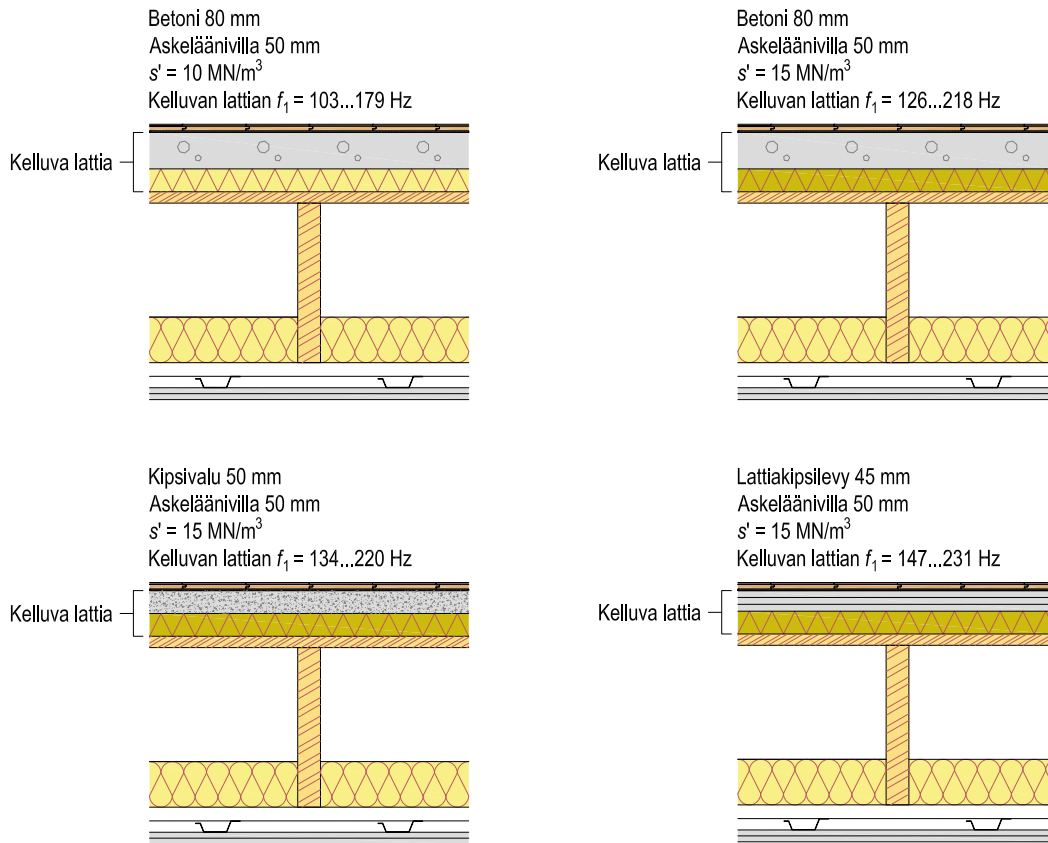
Kelluva lattia toteutetaan yleensä askelääneneristeen päälle joko valulattiana (betoni-, kipsi- tai plaano) tai kipsilevylattiana. Askelääneneristeenä käytetään tähän tarkoitukseen kehitettyjä tuotteita, kuten esimerkiksi mineraalivillaa tai elastisoitua polystyreeniä.

Kelluva lattia toimii ääneneristeenä sen resonanssialueen yläpuolisilla taajuuksilla, kuten ääntä eristävät rakenneosat yleensä. Tästä johtuen kelluvan lattian akustisessa suunnittelussa tulee tarkastella sen alinta ominaistaajuutta f_1 [Hz]. Mitä pienempi kelluvan lattian alin ominaistaajuus on, sitä parempi ääneneristävyys saavutetaan. Kelluvan lattian alimman ominaistaajuuden tulisi olla < 50 Hz, jotta resonanssi-ilmion aiheuttamasta ääneneristävyyden heikentymisestä olisi mahdollisimman vähän haittaa. Kuvasta 38 havaitaan, kuinka askelääneneristeen dynaaminen jäykkyys ja kelluvan lattian massa vaikuttavat kelluvan lattian alimpaan ominaistaajuuteen f_1 . Myös palkkijako vaikuttaa kelluvan lattian ominaistaajuuteen, jonka takia kuvassa 38 alimmalle ominaistaajuudelle esitetään vaihteluväli. Kuvista 41 ja 42 havaitaan kuinka askeläänitasot kasvavat kelluvan lattian alimman ominaistaajuuden vaihteluvälillä.

Kelluvan lattian suunnittelussa ja toteutuksessa tulee olla erittäin huolellinen, koska vähäinenkin kelluvan lattian kytkentä välipohjan kantavaan runkoon tai kelluvaa lattiaa ympäröiviin rakennusosiin heikentää välipohjan ääneneristävyyttä merkittävästi. Lisäksi välipohjan värähtelymitoituksessa tulee tarkastella erityisen huolellisesti kelluvan lattian massaa ja jäykkyyttä sekä askelääneneristeen jäykkyyttä. Liian kevyt ja joustava kelluva lattia tekee välipohjasta epämukavan kävelyn näkökulmasta, koska kelluva lattia saattaa värähdellä kantavan rakenteen päällä. Taulukkoon 7 on koottu kelluvan lattian suunnittelussa ja toteutuksessa huomioitavia seikkoja.

3.6.3 Kiinteän pinalattian vaikutus askelääneneristävyyteen

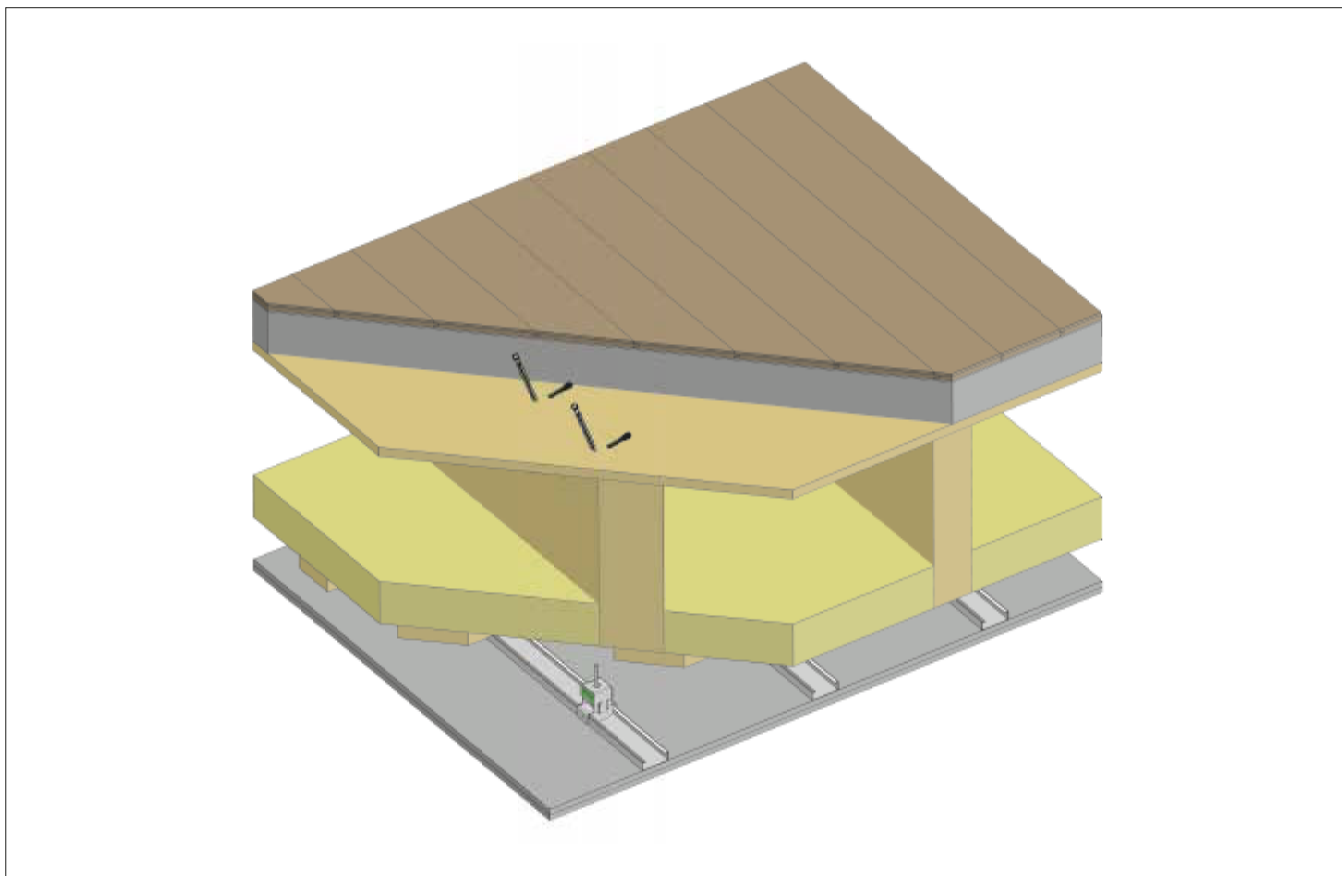
Käytettäessä kiinteänä pinalattiana riittävän raskasta valulattiaa (betoni-, kipsi- tai plaano), tehokasta jousirankakattoa ja joustavaa lattiapinnoitetta, voidaan saavuttaa erittäin hyvä askelääneneristävyys (kuva 43). Betonirakenteinen kiinteä pinalattia voi olla myös liittorakenteinen puuvälipohjan rungon kanssa (kuva 39). Tällöin välipohjasta saadaan jäykempi ja saavutetaan pidempi jänneväli verrattuna tavalliseen palkkivälipohjaan.



Kuva 38. Esimerkkejä kelluvien lattioiden alimmista ominaistaajuuksista.

Taulukko 7. Kelluvan lattian suunnittelussa huomioitavia seikkoja.

Huomioitava seikka	Vaikutus
Kelluvan lattian irrotus sitä ympäröivistä rakennusosista	Kytkenän estäminen
Valusuoja askelääneneristeen päällä	- Kytkenän estäminen - Valettavan massan ja sen sisältämän veden valumisen estäminen
Riittävän jäykkä lattia askelääneneristeen päällä	- Pistekuormituskestävyys - Taipuma
Riittävän raskas lattia askelääneneristeen päällä	- Ääneneristävyys - Kävelyn aiheuttama värähtely
Riittävä jäykkä askelääneneriste	- Kuormituskestävyys - Painuma - Kävelyn aiheuttama värähtely
Valulattian riittävä raudoitus ja paksuus	Kelluvan laatan käyristymisen estäminen (kuivuu yhteen suuntaan)
Pintalaatan reunojen tiivistys	Veden pääsyn estäminen pintalaatan alle käyttötilanteessa



Kuva 39. Esimerkki liittorakenteisesta puuvälipohjasta.

3.6.4 Lattiatpinnoitteen vaikutus askelääneneristävyyteen

Lattiatpinnoite ei vaikuta merkittävästi välipohjan ilmaääneneristävyyteen. Sen sijaan yksinkertaisen raskaan betonivälipohjan tapauksessa joustavalla lattiatpinnoitteella on suuri merkitys askelääneneristävyyteen. Puuvälipohjissa joustavalla lattiatpinnoitteella on vaikutusta askelääneneristävyyteen, kun välipohjassa on kiinteä pintalattia.

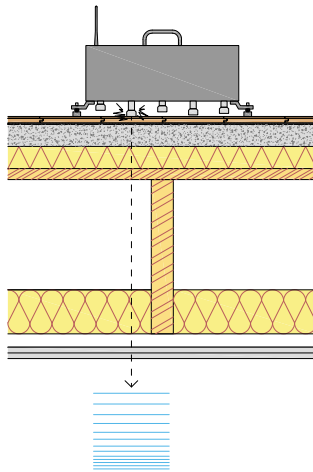
Kelluvan lattian tapauksessa joustavan lattiatpinnoitteen vaikutus askelääneneristävyyteen on lähes merkityksetön. Tämä johtuu siitä, että kelluva lattia on joustavuutensa ansiosta merkittävässä asemassa, jolloin lattiatpinnoitteen vähäinen joustavuus ei tuo merkittävää hyötyä kokonaisuuteen.

Joustava lattiatpinnoite voidaan toteuttaa esimerkiksi muovimatolla, kokolattiamatolla tai joustavan aluskerroksen päällä olevalla parketilla/laminaatilla. Joustavien lattiatpinnoitteiden askelääneneristävyyden parannusluku ΔL_w on määritetty raskaalle yksinkertaiselle betonirakenteiselle välipohjalle, joten puurakenteisten välipohjien tapauksessa joustavan lattiatpinnoitteen parannusvaikutus askelääneneristävyyteen ei ole yhtä hyvä. Tästä johtuen lattiatpinnoitteiden ΔL_w -arvoja ei voida sellaisenaan soveltaa puurakenteisiin välipohjiin.

Kovia lattiatpinnoitteita (esim. keraaminen laatta) käytettäessä välipohjassa joudutaan yleensä käyttämään kelluvaa lattiaa, jotta askelääneneristävyyksvaatimukset saadaan täytettyä. Tämä koskee myös raskaita betonivälipohjia. Kuvasta 44 havaitaan, että lattiatpinnoitteen joustavuudella on erittäin suuri merkitys askelääneneristävyyteen kiinteää pintalattiaa käytettäessä.

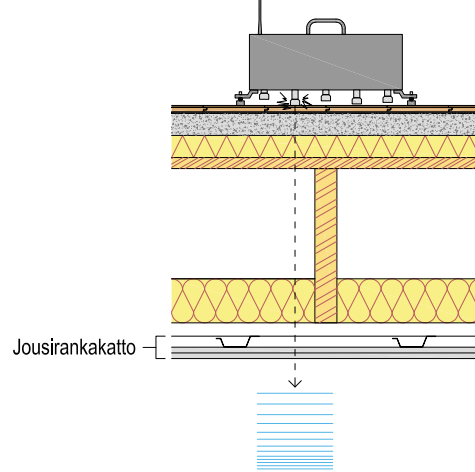
Palkkirakenteinen välipohja

$$L'_{nT,w} + C_{1,50-2500} = 58 \text{ dB}$$



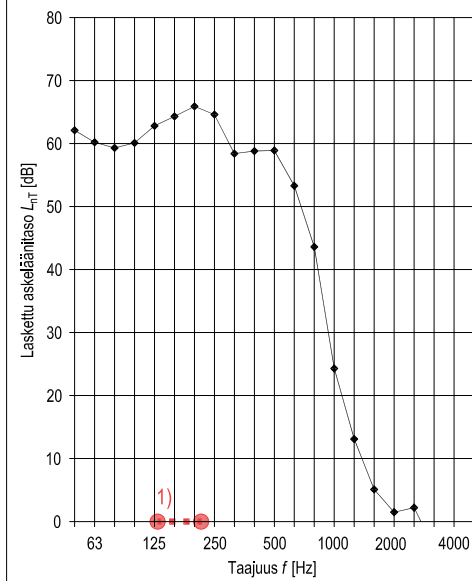
Palkkirakenteinen välipohja

$$L'_{nT,w} + C_{1,50-2500} = 53 \text{ dB}$$



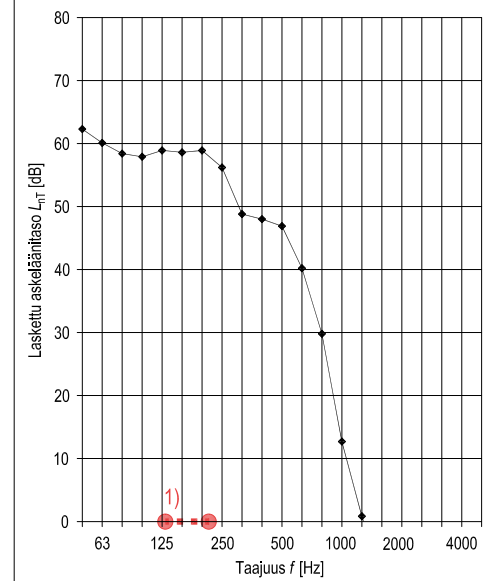
Palkkirakenteinen välipohja

Alakatto: Kipsilevy 13 + Kipsilevy 13


1) Kelluvan lattian alin ominaistajuus $f_1 = 132...222 \text{ Hz}$

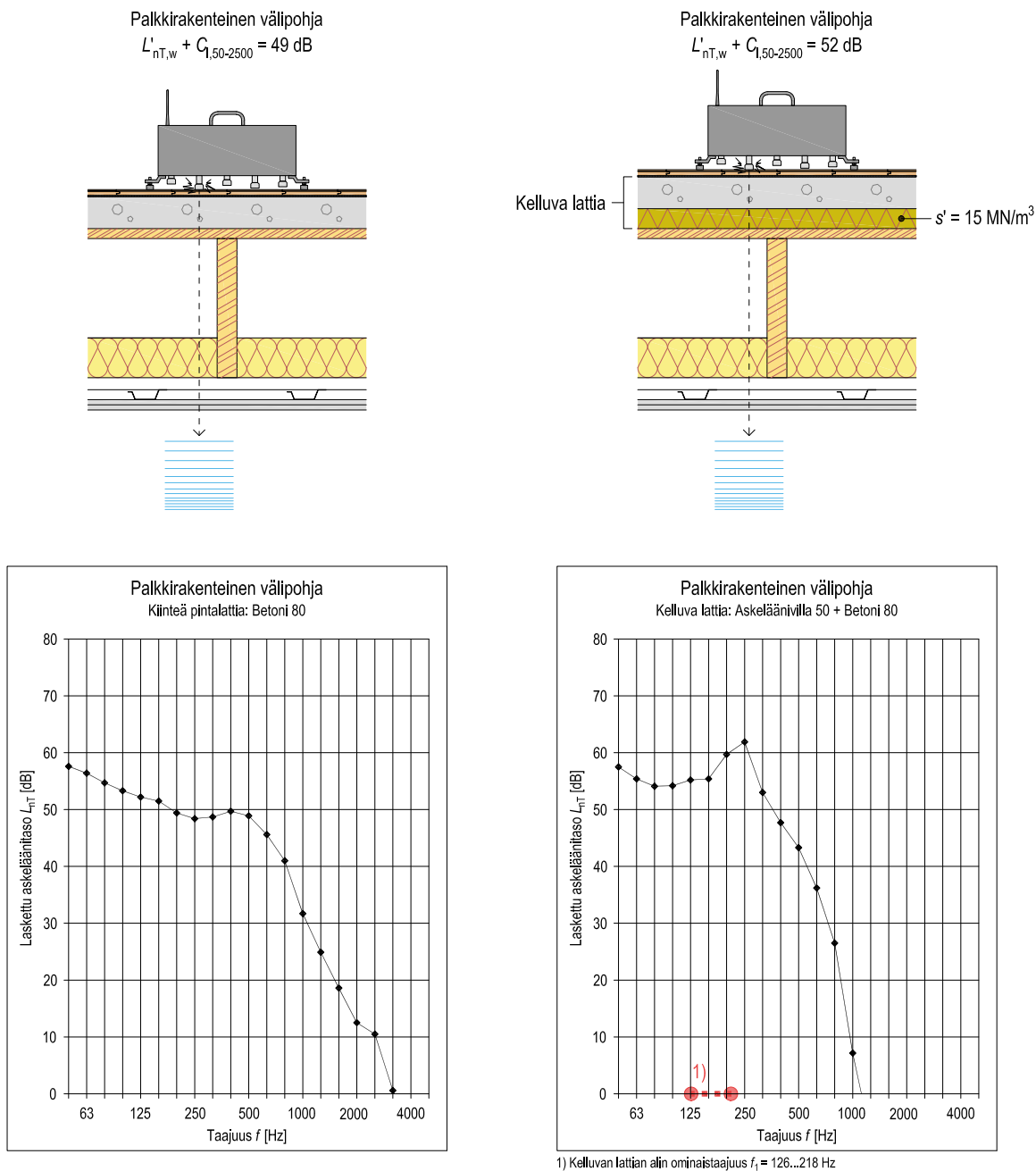
Palkkirakenteinen välipohja

Alakatto: Akustiset jousirangat + Kipsilevy 13 + Kipsilevy 13


1) Kelluvan lattian alin ominaistajuus $f_1 = 132...222 \text{ Hz}$

Kuva 40. Esimerkki jousirankakaton vaikutuksesta palkkivälipohjan askelääneneristävyyteen.

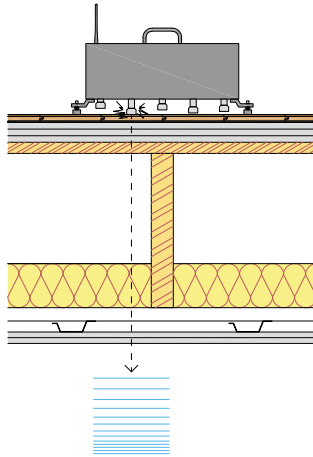
RAKENNUSOSIEN AKUSTINEN TOIMINTA



Kuva 41. Esimerkki raskaan kelluvan lattian vaikutuksesta palkkivälipohjan askelääneneristävyyteen.

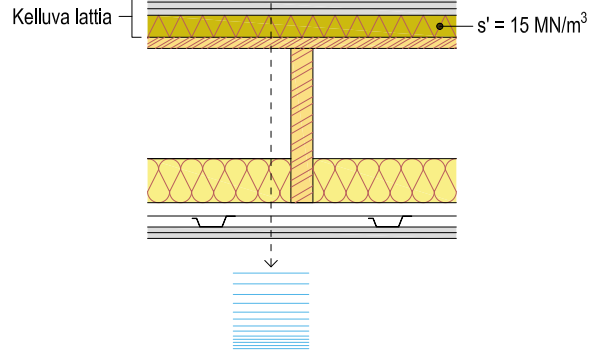
Palkkirakenteinen välipohja

$$L'_{nT,w} + C_{1,50-2500} = 60 \text{ dB}$$



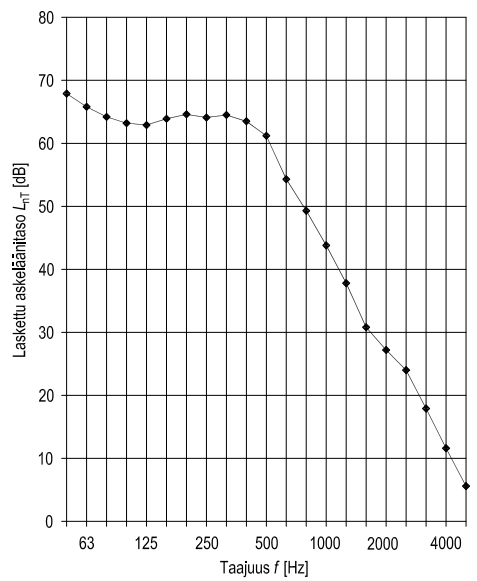
Palkkirakenteinen välipohja

$$L'_{nT,w} + C_{1,50-2500} = 58 \text{ dB}$$



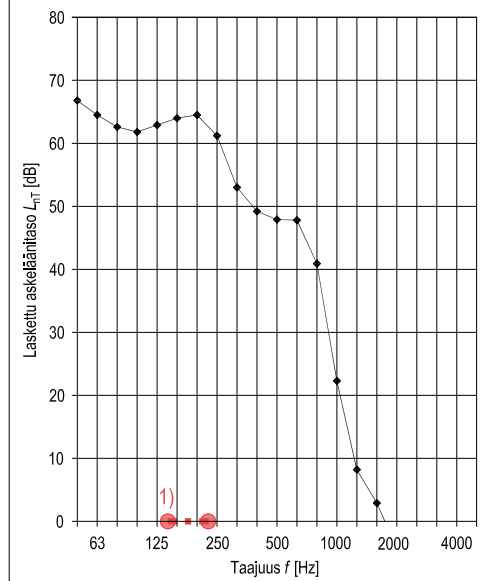
Palkkirakenteinen välipohja

Kiinteä pintalattia: 3x Lattiakipsilevy 15



Palkkirakenteinen välipohja

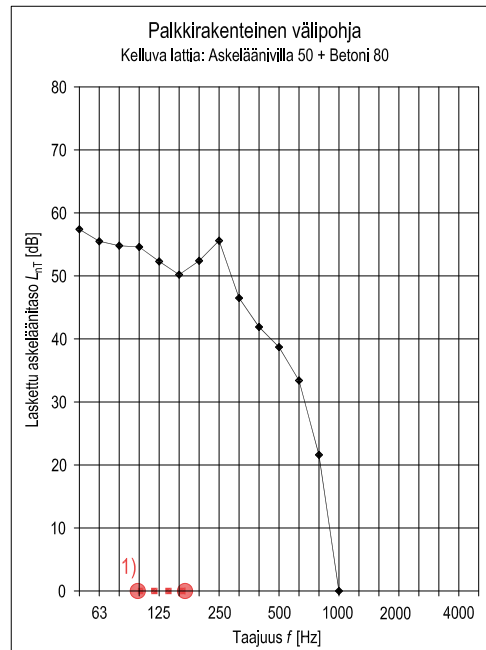
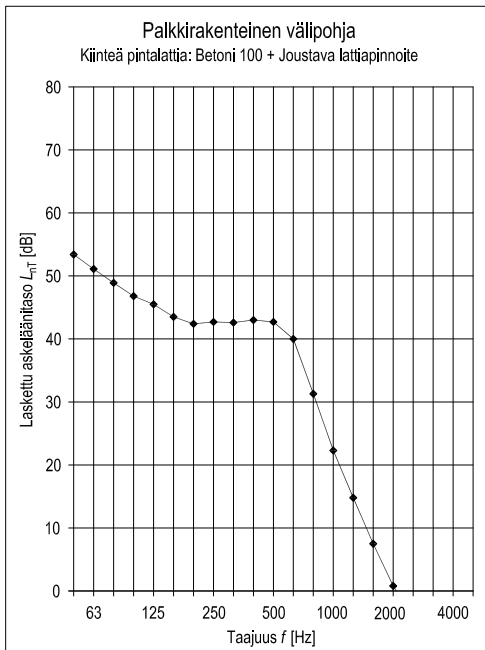
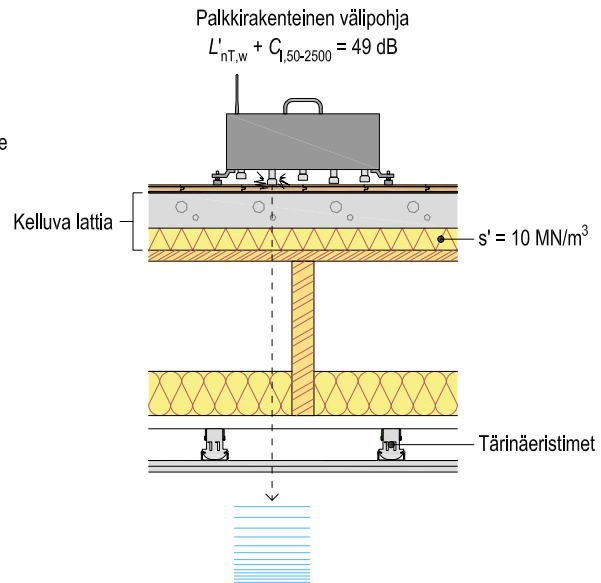
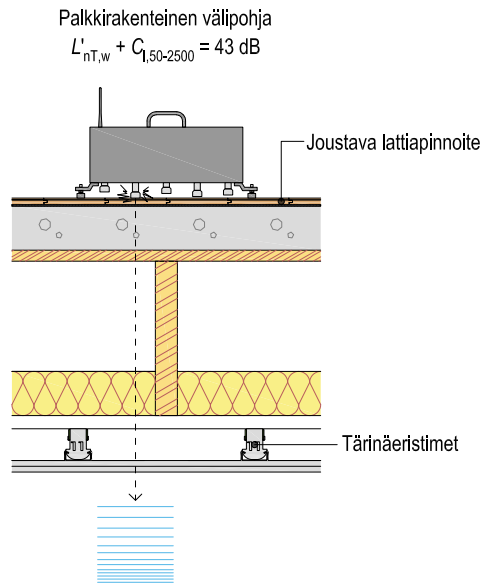
Kelluva lattia: Askeläänivilla 50 + 3x Lattiakipsilevy 15


1) Kelluvan lattian alin ominaltaajuus $f_1 = 147 \dots 231 \text{ Hz}$
HUOMIO!

Kyseisillä välipohjilla voidaan joissakin tapauksissa saavuttaa askeläänitasoluku 53 dB, vaikka tässä laskennallisessa tarkastelussa askelääneneristävyyttä näyttää hyvin heikolta.

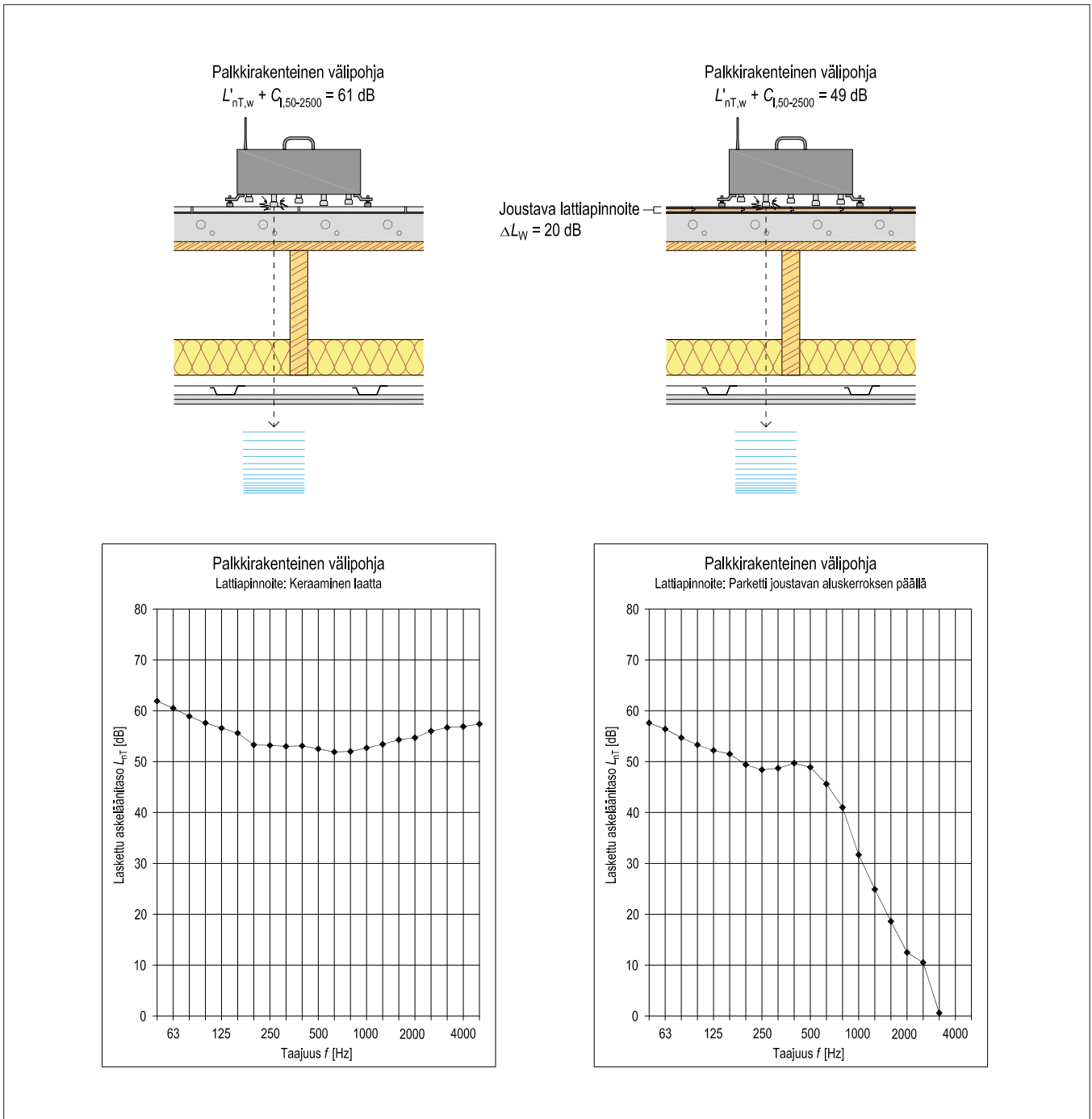
Kuva 42. Esimerkki kevyen kelluvan lattian vaikutuksesta palkkivälipohjan askelääneneristävyyteen.

RAKENNUSOSIEN AKUSTINEN TOIMINTA



1) Kelluvan lattian alin ominaistaajuus $f_1 = 103 \dots 179 \text{ Hz}$

Kuva 43. Esimerkki pintalattian tyypin vaikutuksesta palkkivälipohjan askelääneneristävyyteen.



Kuva 44. Esimerkki joustavan lattiatpinnoitteen vaikutuksesta palkkivälipohjan askelääneneristävyyteen kiinteää pinalattiaa käytettäessä.

3.6.5 Välipohjan rungon jäykkyyden vaikutus ilma- ja askelääneneristävyyteen

Puurakenteisen välipohjan kantavan rungon jäykkyyden vaikutusta välipohjan ilma- ja askelääneneristävyyteen voidaan pitää merkityksettömänä. Tämä johtuu siitä, että puuvälipohjat eivät toimi akustisesti yksinkertaisen rakenteen tapaan, jossa massa ja jäykkyys ovat avainasemassa.

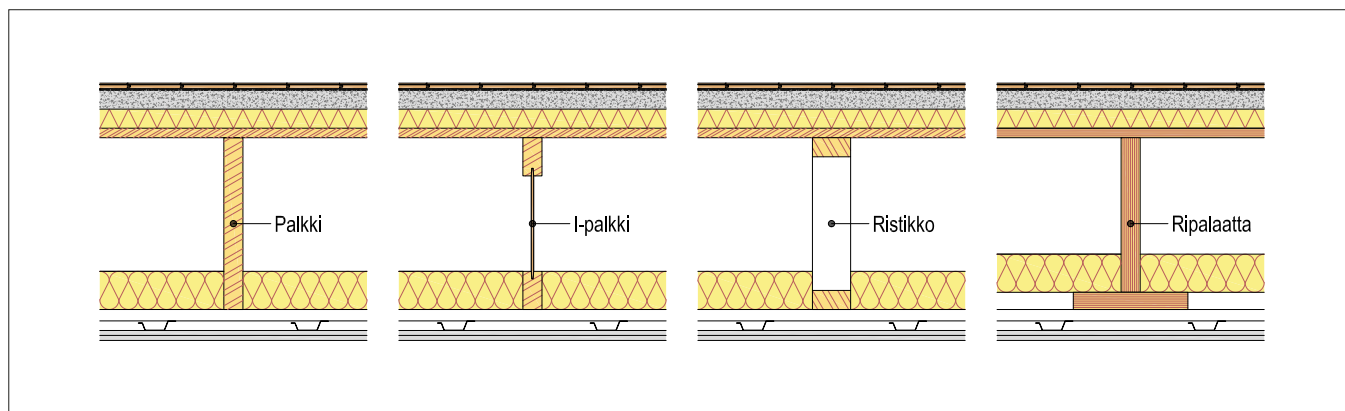
Puuvälipohjan kantavan rungon jäykkyydellä ja kannatintyyppillä on merkittävä vaikutus välipohjan värähtelymitoituksessa (esim. kävelyn aiheuttama värähtely). Sen sijaan kannatintyyppin vaikutus välipohjan ilma- ja askelääneneristävyyteen on käytännössä merkityksetön. Teoriassa ohutuumapalkit (I-palkki) ja ristikkokannattimet ovat akustisesti parempia, koska ne aiheuttavat vähemmän kytkentää välipohjan ylä- ja alapinnan rakennekerrosten välille.

3.6.6 Palkkirakenteisen välipohjan ontelon vaikutus ilma- ja askelääneneristävyyteen

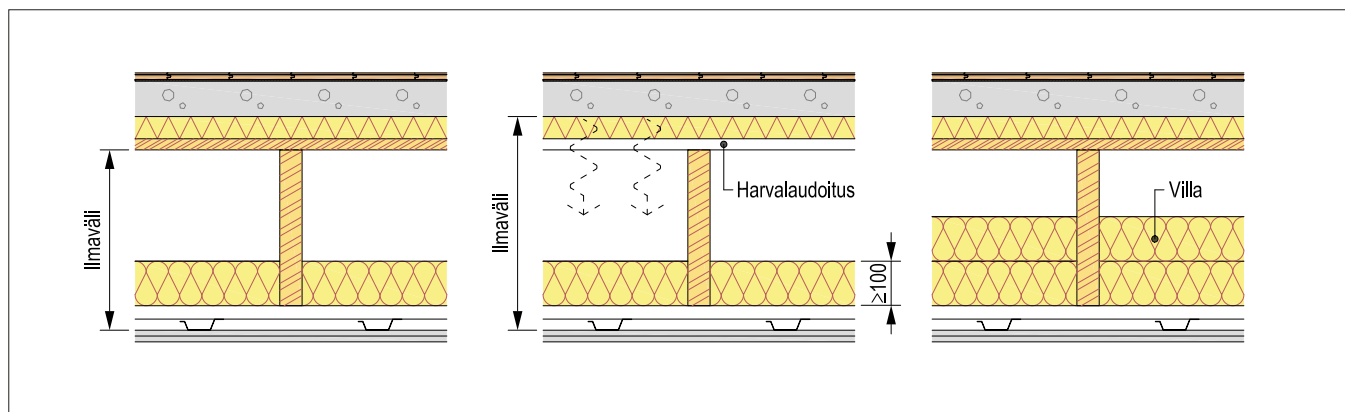
Kaksinkertaisessa välipohjassa ilmapälin osalta pätevät samat akustiset seikat kuin kaksinkertaisen seinän tapauksessa. Palkkirakenteisessa välipohjassa ylä- ja alapinnan rakennekerrosten vä-

lille muodostuu suhteellisen korkea ilmapäli palkkien korkeudesta johtuen. Mitä suurempi ilmapäli on, sitä parempi ilma- ja askelääneneristävyys saavutetaan. Kelluvan lattian tapauksessa ääneneristävyyden näkökulmasta olisi optimaalista, että ilmapäli on yhtenäinen askelääneneristeen yläpinnasta jousirankakaton levytykseen saakka (kuva 46). Tällöin välipohjan levyrakenteinen aluslattia tulisi korvata ilmaa läpäisevällä rakennekerroksella (esim. harvalaudoitus). Käytännössä tämä ei ole helppo toteuttaa ja samalla menetetään jäykistävä levytyks välipohjan kantavan rungon yläpinnasta.

Välipohjan ilmapälin kaiunta poistetaan ääntä absorboivalla materiaalilla, kuten kaksinkertaisessa seinässä. Palkkirakenteisen välipohjan ontelossa tulee olla vähintään 100 mm ääntä absorboivaa materiaalia. Tavallisesti absorboivana materiaalina käytetään villaa. Välipohjan ontelo voidaan täyttää myös kokonaan ääntä absorboivalla materiaalilla, mutta taloudellisesti tämä ei ole yleensä kannattavaa saatavaan hyötyyn nähden. Palkkirakenteisen välipohjan ontelossa olevan 100 mm paksun villakerroksen kasvattaminen 200 mm:iin parantaa välipohjan ilma- ja askelääneneristävyyttä noin 1...3 dB.



Kuva 45. Palkkirakenteisen välipohjan kannatintyyppejä.



Kuva 46. Palkkirakenteisen välipohjan ilmapäli ja ääntä absorboiva materiaali välipohjan ontelossa.

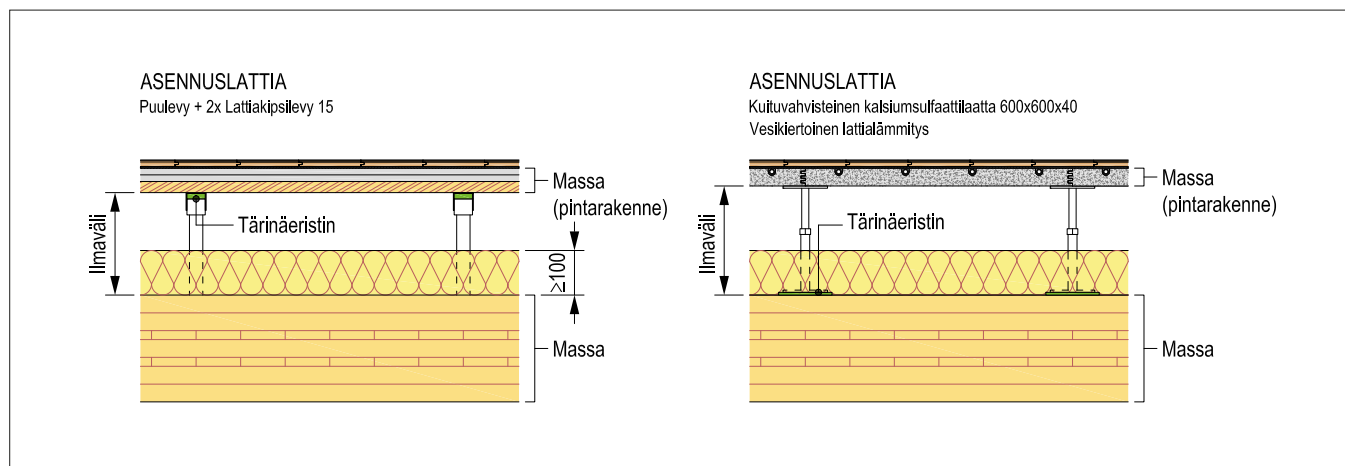
3.6.7 Asennuslattian vaikutus askelääneneristävyyteen

Asennuslattiat soveltuvat hyvin massiivipuulevyvälipohjien yhteyteen, koska asennuslattia tekee välipohjasta akustisesti kaksinkertaisen rakenteen. Samalla muodostuu tila LVIS-asennuksille, rakennuksen muuntojoustavuus paranee (esim. toimistorakennus) ja kantavana rakenteena toimiva massiivipuulevy voidaan mahdollisesti jättää näkyväksi kattopinnaksi.

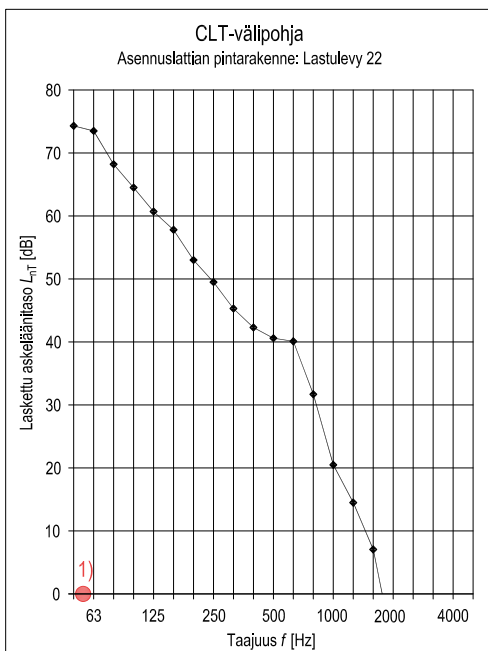
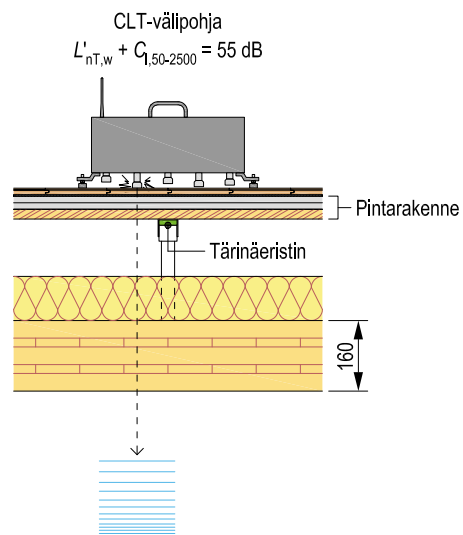
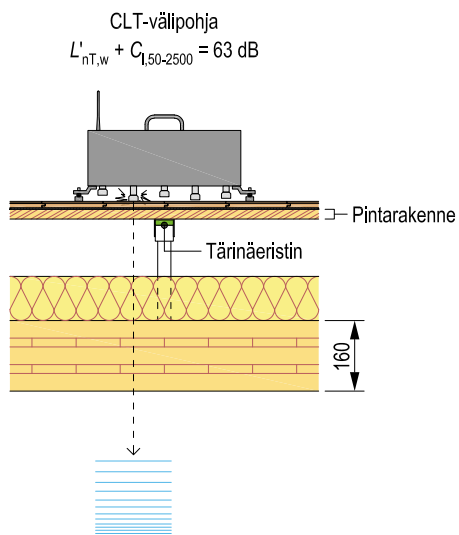
Asennuslattialla varustetun välipohjan ääneneristävyys perustuu kaksinkertaisen rakenteen tapaan asennuslattian pintarakenteen ja kantavan rakenteen massaan sekä näiden välissä olevan ilmavälin korkeuteen. Lisäksi asennuslattian rungossa tarvitaan tärinäeristimet, jotka suunnitellaan asennuslattian pintarakenteen massan ja lattian kuormituksen perusteella. Asennuslattian ontelon kaiunta poistetaan ääntä absorboivalla materiaalilla. Tavalli-

sesti absorboivana materiaalina käytetään villaa. Joustavan lattia-pinnoitteen vaikutus tärinäeristimillä varustetun asennuslattian ääneneristävyyteen on pienehkö, koska asennuslattia itsessään on joustava (vrt. kelluva lattia).

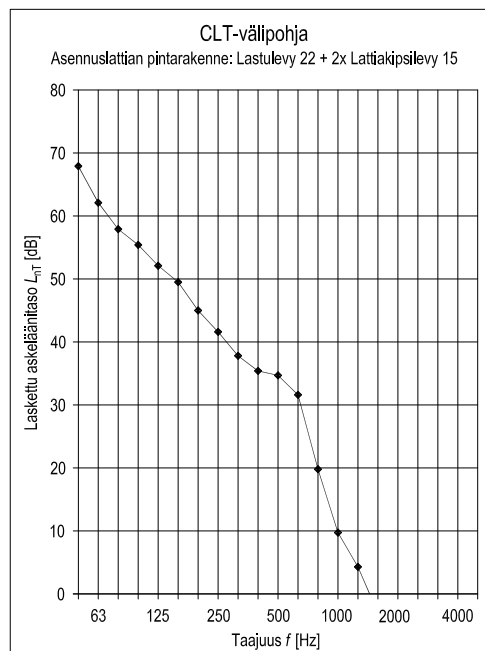
Asennuslattian suunnittelussa ja toteutuksessa tulee olla erittäin huolellinen. Vähäinensin asennuslattian pintarakenteen suora kytkentä välipohjan kantavaan runkoon tai pintarakennetta ympäröiviin rakennusosiin heikentää välipohjan ääneneristävyyttä merkittävästi. Lisäksi välipohjan värähtelymitoituksessa tulee tarkastella erityisen huolellisesti pintarakenteen massaa ja jäykkyyttä sekä tärinäeristimien jäykkyyttä. Liian kevyt ja joustava pintarakenne tekee välipohjasta epämukavan kävelyn näkökulmasta, koska pintarakenne saattaa värähdellä kantavan rakenteen päällä. Kuvasta 48 havaitaan, kuinka asennuslattian pintarakenteen massan lisääminen parantaa askelääneneristävyyttä.



Kuva 47. Esimerkkejä asennuslattioista.



1) Asennuslattian alin ominaistaajuus $f_1 = 56 \text{ Hz}$



Asennuslattian alin ominaistaajuus $f_1 = 40 \text{ Hz}$

Kuva 48. Esimerkki asennuslattian pintarakenteen massan vaikutuksesta CLT-väli­pohjan askelääneneristävyyteen.

3.7 TILAELEMENTTIEN VÄLIPOHJAT

Tilaelementtien välipohjat ovat luonnostaan akustisesti kaksinkertaisia rakenteita, koska alemman tilaelementin katto ja ylemmän tilaelementin lattia ovat erillisiä rakennusosia. Akustisesti tilaelementtien välipohjat ovat lähes ideaalisia massa-jousi-massa-systeemejä, koska kytkentää massojen välillä tapahtuu ainoastaan välipohjan tukien (pystyrakenteiden) välityksellä.

3.7.1 Lattiarakenteen vaikutus ilma- ja askelääneneristävyyteen

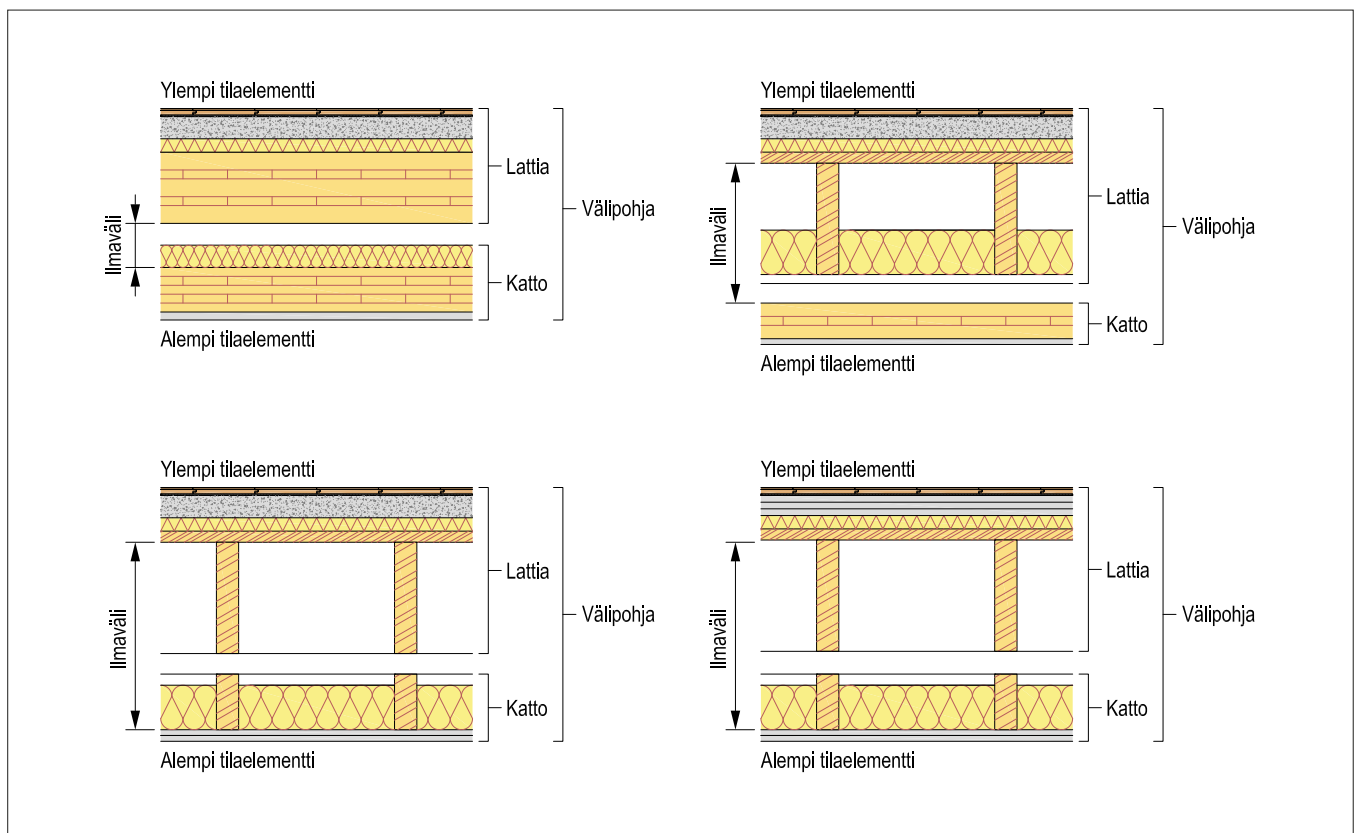
Tilaelementin lattiarakenteessa pätevät periaatteissa samat akustiset seikat kuin muissakin puuvälipohjissa. Askelääneneristävyyteen voidaan vaikuttaa pinalattian tyypillä (kiinteä/kelluva) sekä sen massalla. Raskasta kiinteää pinalattia käytettäessä voidaan hyödyntää myös joustavan lattiapinnoitteen parannusvaikutus, kuten muissakin puuvälipohjissa. Erityisesti massiivipuulevyjen tapauksessa tulee tarkastella myös levyn koinisidenssin rajataajuuden vaikutusta ilmaääneneristävyyteen. Kuvista 50 ja 51 havaitaan kuinka pinalattian tyyppi ja kelluvan lattian massa vaikuttavat askelääneneristävyyteen.

3.7.2 Kattorakenteen vaikutus ilma- ja askelääneneristävyyteen

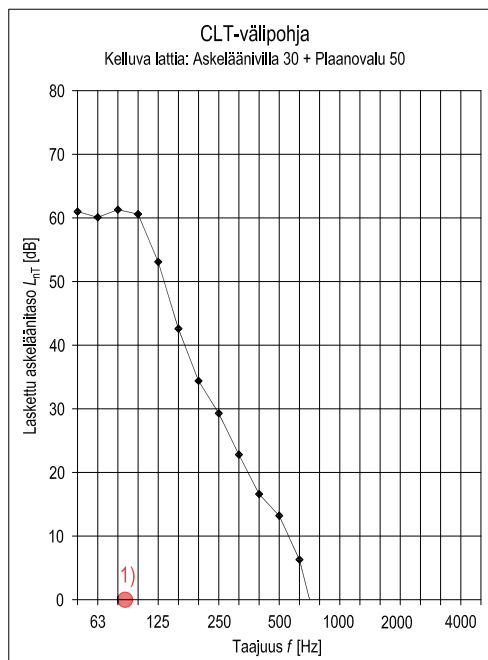
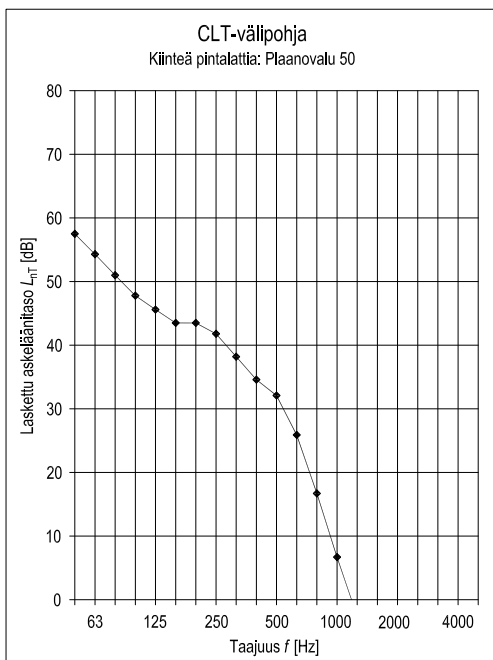
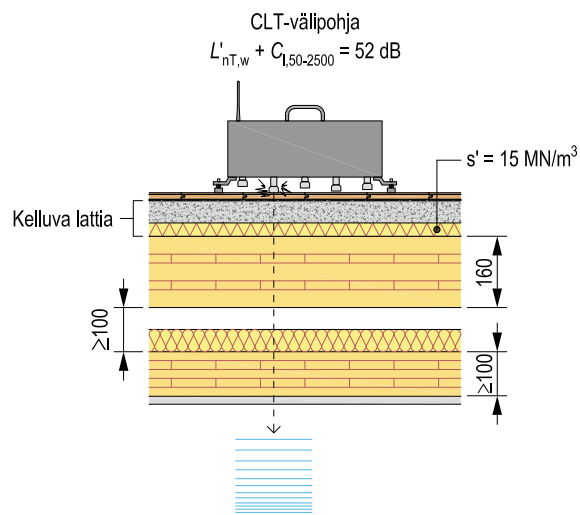
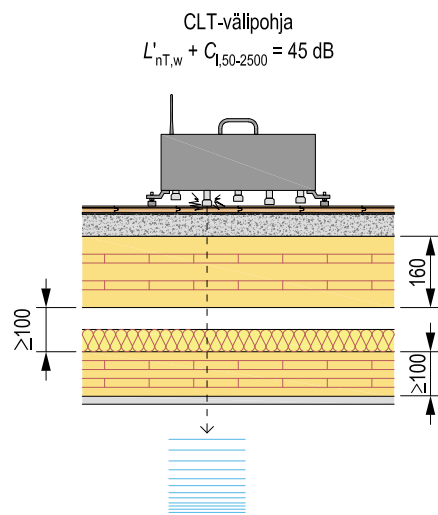
Tilaelementin kattorakenteessa ääneneristävyyden näkökulmasta pääasialliset tekijät ovat levyjen massa ja koinisidenssin rajataajuus. Raskaita kipsilevyjä käytettäessä saavutetaan ilma- ja askelääneneristävyyteen etuja, kuten puurakenteisissa välipohjissa yleensäkin. Ilmaääneneristävyyden näkökulmasta massiivipuulevystä toteutetussa kattorakenteessa saatetaan joutua käyttämään lisäksi kipsilevytystä koinisidenssi-ilmion takia (kuva 52). Kyseinen kipsilevytys voidaan asentaa akustisesta näkökulmasta katsoen myös massiivipuulevyn taustapuolelle eli ilmapälin puolelle.

3.7.3 Välipohjan ontelon vaikutus ilma- ja askelääneneristävyyteen

Tilaelementtien välipohjissa ilmapälin korkeuden sekä ilmapälinissä tarvittavan ääntä absorboivan materiaalin osalta pätevät periaatteissa samat akustiset seikat kuin muissakin puuvälipohjissa (ks. kohta 3.6.6). Massiivipuulevyrakenteisissa välipohjissa ilmapälin korkeutta ja absorboivan materiaalin määrää voidaan optimoida akustiikkasuunnittelijan kanssa.

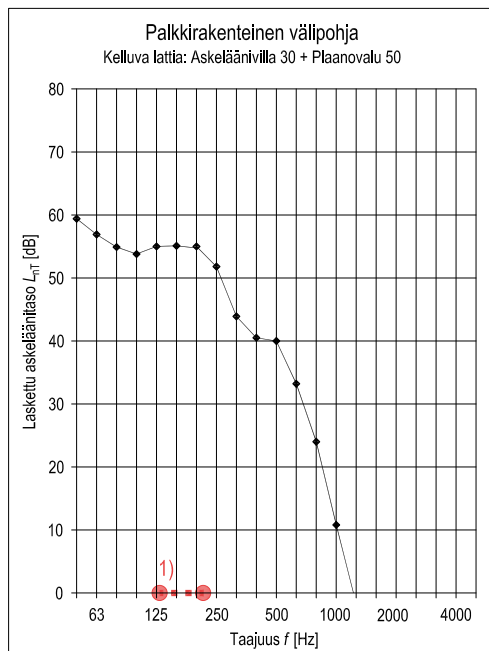
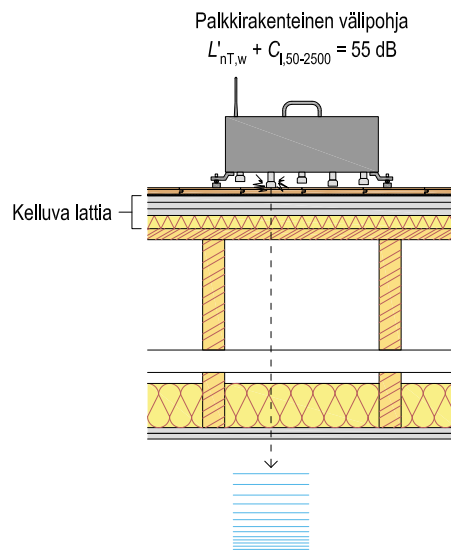
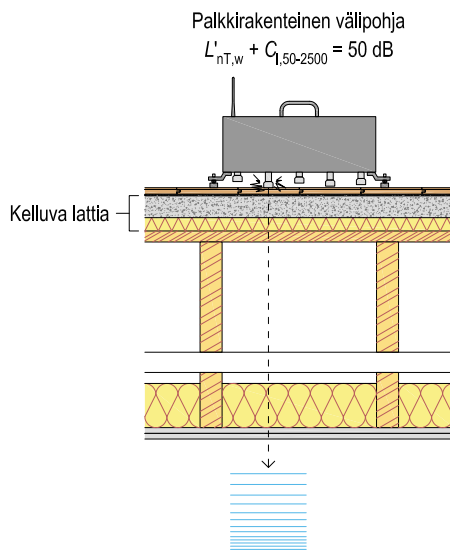


Kuva 49. Tyypillisiä tilaelementtien välipohjia.

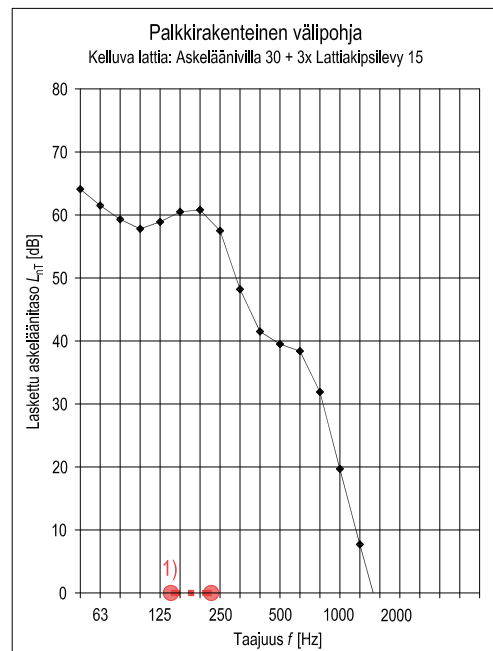


1) Kelluvan lattian alin ominaistaajuus $f_1 = 91 \text{ Hz}$

Kuva 50. Esimerkki pintalattian tyypin vaikutuksesta tilaelementin CLT-välipohjan askelääneneristävyyteen.



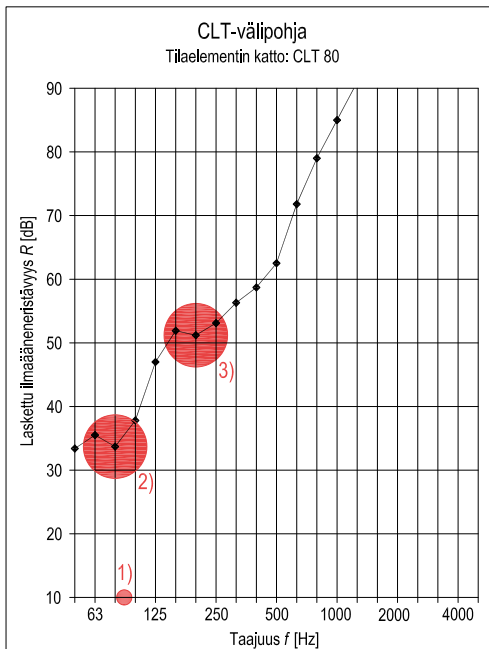
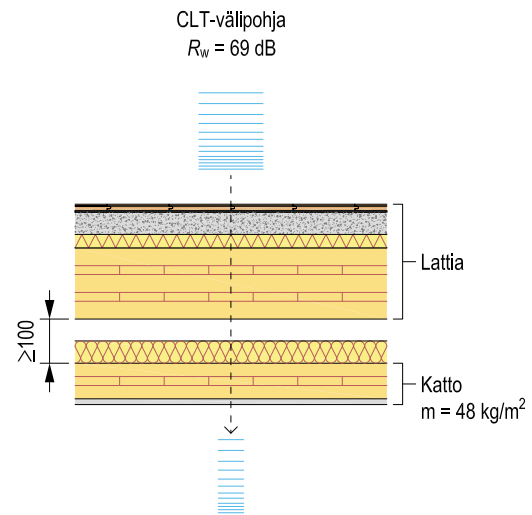
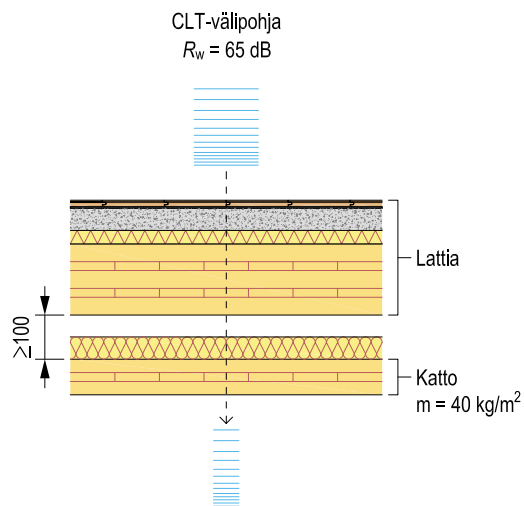
1) Kelluvan lattian alin ominaistaajuus $f_1 = 133...222 \text{ Hz}$



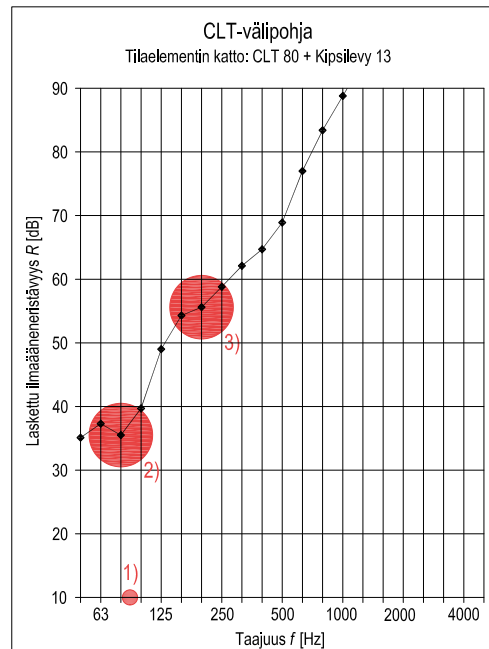
1) Kelluvan lattian alin ominaistaajuus $f_1 = 147...231 \text{ Hz}$

Kuva 51. Esimerkki kelluvan lattian massan vaikutuksesta tilaelementin palkkivälipohjan askelääneneristävyyteen.

RAKENNUSOSIEN AKUSTINEN TOIMINTA



- 1) Kelluvan lattian alin ominaistajuus $f_1 = 93 \text{ Hz}$
- 2) Lattian CLT-levyn koinsidenssi-ilmiö
- 3) Katon CLT-levyn koinsidenssi-ilmiö



- 1) Kelluvan lattian alin ominaistajuus $f_1 = 93 \text{ Hz}$
- 2) Lattian CLT-levyn koinsidenssi-ilmiö
- 3) Katon CLT-levyn koinsidenssi-ilmiö

Kuva 52. Esimerkki kattorakenteen kipsilevyn vaikutuksesta tilaelementin CLT-välipohjan ilmaääneneristävyyteen.