

22. MELU JA SEN TORJUNTA

22.1. Fysikaalisia käsitteitä ja kaavoja

Ääni on kuuloelimen avulla tajuttu aistimus, joka aiheutuu paineen muutoksista kaasussa, nesteessä tai kiinteässä aineessa. Korva ottaa nämä paineen muutokset vastaan tärykalvon avulla. Ihmiskorva kuulee ääniä, joiden taajuus on 16...16000 Hz välillä.

Ääni etenee väliaineessa nopeudella, joka riippuu väliaineen laadusta, paineesta ja lämpötilasta. Äänen etenemisnopeus ilmassa on noin 340 m/s, vedessä noin 1500 m/s ja teräksessä noin 5000 m/s.

Äänivärähtelyt koostuvat usein monista osavärähtelyistä. Erimerkiksi musikaalinen ääni sisältää äänenkorkeuden määrävän perusaallon ja joukon yliaaltoja, joiden taajuudet ovat perustaajuuden monikertoja antaen äänelle sen värin. Melu määritellään ääneksi, joka on jotenkin haitallista.

Äänen aallonpituus on laskettavissa yhtälöstä:

$$\lambda = \frac{c}{f}, \quad (1)$$

jossa λ = äänen aallonpituus,
 c = äänen etenemisnopeus,
 f = äänen taajuus.

Kun ääni etenee, se merkitsee samalla tietyn tehon P siirtymistä. Kun tämä teho siirtyy poikkipinnan A kautta, sanotaan suuretta P/A äänen intensiteetiksi I . Koska I , kuten muutkin äänisuureet, vaihtelee useiden kymmenen potenssien alueella, samoin kuin korvan kuuloakykykin, käytetään yleensä logaritmista asteikkoa. Ilma-äänien intensiteetti- ja painetasot (L_1 ja L_p) voidaan laskea seuraavan kaavan avulla:

$$L_1 = 10 \cdot \lg \frac{I}{I_0} \approx L_p = 20 \cdot \lg \frac{P}{P_0} \quad (2)$$

Yhtälö (2) pitää likimäärin paikkansa, kun referenssitasot ovat seuraavat:

$I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$ ja $P_0 = 2 \cdot 10^{-5} \text{ N/m}^2$ (= Pa)

L :n yksikkö on dB (desibeli).

Äänen painetasoa käytetään yleensä, siksi, että vain se on mitattavissa. Koska akustisiin laskelmiin tarvitaan äänilähteen aiheuttamaa äänen tehotasoa, on tunnettava yhteys tietyllä etäisyydellä äänilähteestä vallitsevan äänen painetason ja tehotason välillä. Kun äänen tehotaso pysyy vakiona, äänen painetaso vähenee etäännyttäessä äänilähteestä. Tavallisesti äänen tehotaso (L_W) on lukuarvoltaan suurempi kuin äänen painetaso (L_p). Tämä nähdään seuraavista kaavoista:

$$L_W = 10 \cdot \lg \frac{P}{P_0} = L_p + 10 \cdot \lg \frac{A}{A_0} = L_p + 8 + 20 \lg \frac{r}{m} \quad (3)$$

Yhtälön viimeinen osa pätee r -säteisen puolipallon pinnalla ja

$L_W \approx L_p + 18 \text{ dB}$, jos $r = 3 \text{ m}$.

Yhtälössä (3) ovat referenssisuureet:

$P_0 = 10^{-12} \text{ W}$ sekä $A_0 = 1 \text{ m}^2$.

Useiden äänilähteiden vaikuttaessa samanaikaisesti ne aiheuttavat äänen kokonaispainetason:

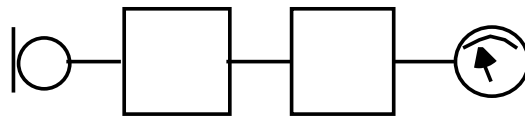
$$L_p = 10 \lg \sum_i 10^{L_{pi} / 10} \text{ dB} \quad (4)$$

Jos siis jonkin pisteen ympäristössä on kaksi yhtä voimakasta äänilähdettä samalla etäisyydellä, niiden yhdessä synnyttämä äänen painetaso on 3 dB korkeampi kuin toisen yksinään ja vastaavasti 10 dB korkeampi, jos äänilähteitä on 10. Kaavasta (4) voidaan myös laskea, että äänen painetaso nousee vain noin 1 dB, jos voimakkaan äänilähteen rinnalle asetetaan toinen 5...6 dB heikempi äänilähde.

22.2. Äänen mittauksia

Yleistä

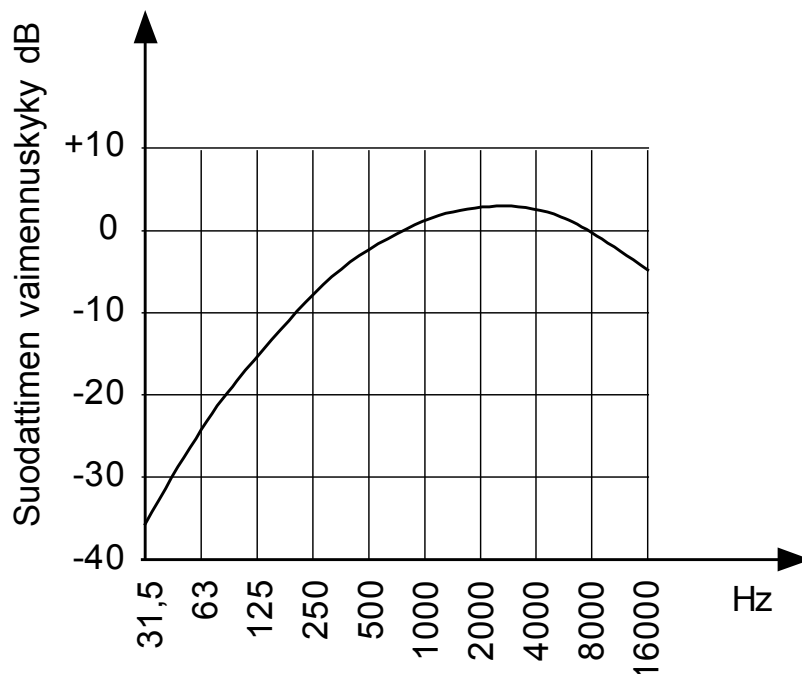
Mittauksien avulla saadaan selville äänen painetaso mittauspaiikalla. Mittaukset suoritetaan yleensä kuvan 22.2a esittämän laitteiston avulla. Mikrofonin muuntaa paineen vaihtelut sähköjännitteiksi, jotka vahvistetaan. Vahvistettu jännite vaikuttaa suodattimen kautta mittariin, joka voi olla joko osoittava tai piirtävä. Mittarin asteikko laaditaan osoittamaan äänen painetasoa.



Mikrofonin vahvistin suodatin mittari

KUVA 22.2a. Äänitasomittarin lohkokaavio.

Jos suodattimen taajuudesta riippuen vahvistaa tai heikentää mittarin osoitusta kuulonalueella, sitä kutsutaan painotussuodattimeksi. Painotussuodattimen tarkoituksena on saada mittaus tulos vastaamaan ihmiskorvan kuuloherkkyyttä. Kansainvälinen standardointijärjestö (ISO) on määrittellyt kolme erilaista painotussuodatinta A, B ja C. Nykyisin käytetään yleensä suodattimella A mitattuja dB (A)-arvoja ilmoitettaessa painotettuja äänen painetasoja eli äänitasoja. A-suodattimen vaimennuksen luonteen ilmaisee kuva 22.2b.



KUVA 22.2b. Painotussuodattimen A vaimennuskäyrä.

Tarkempi kuva mitattavan äänen laadusta saadaan taajuusanalyysin avulla. Tällöin painotussuodattimen korvataan kaistasuodattimella. Tavallisimmat suodattimet ovat oktaavi- ja terssisuodattimet. Edellisen kaistanleveys on oktaavi ja jälkimmäisen 1/3 oktaavia. Oktaavi on alue, jossa suurimman ja pienimmän taajuuden suhde on 2. Erikoistutkimuksissa käytetään myös ns. kapeakaistasuodattimia.

Koneiden äänenmittaus

Akustiikkakomitea ISO/TC 43 on laatinut pyörivien sähkökoneiden ilmaäänien mittausstandardit ISO 1680/1-1986 ja ISO 1680/2-1986. Näistä edellinen määrittelee melko tarkan teknisen menetelmän (engineering method) ja jälkimmäinen vähemmän tarkan kartoitusmenetelmän (survey method), jota käytetään mm. silloin, kun mittausolosuhteet eivät täytä standardin ISO 1680/1 vaatimuksia. Koneen äänitaso mitataan useassa kohdassa vakioetäisyydellä koneen pinnasta, 1 metrin mittausetäisyyttä suositellaan. Mittauksessa käytetään A-suodatinta. Tuloksista lasketaan taustamelukorjauksen jälkeen keskimääräinen äänenpaineen taso mittauspinnalla, tehdään tähän arvoon huonetilakorjaus ja lasketaan äänen tehotaso L_{WA} . Mitattaessa kone pyörii tyhjäkäynnissä. Kummassakin standardissa esitetään myös likimääräinen menetelmä kuormitetussa tilassa ja tyhjäkäyntitilassa olevan koneen äänitasojen eron määrittämiseksi.

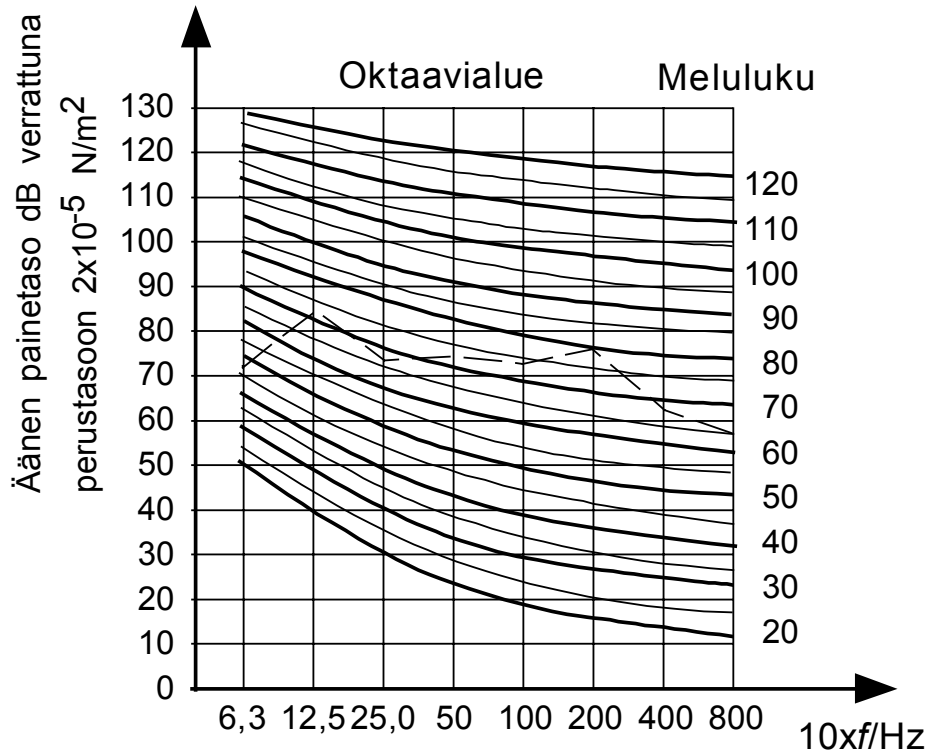
IEC-standardissa 60034-9 (1990) on esitetty koneiden sallitut A-painotetut äänen tehotasot mitattuna tyhjäkäynnissä ISO-standardin 1680/1-1986 mukaisesti. Elleivät mittausolosuhteet täytä ISO 1680/1 vaatimuksia, sallitaan mittaus ISO 1680/2 mukaisesti. Jos ISO 1680/2 mukaisesti mitattuihin tuloksiin ei ole tehty mittausepä tarkkuudesta johtuvaa korjausta, on standardin IEC 60034-9 taulukossa 1 annettuja äänen tehotason raja-arvoja alennettava 3 dB.

Vaikka on tärkeää tietää koneen äänitaso kuormitustilassa, lähes kaikki nykyiset kansallisetkin standardit määrittelevät koneen mittaustilaksi tyhjäkäynnin ja mahdolliset melurajat koskemaan sitä. Syynä tähän ovat mittausvaikeudet.

22.3. Melun haittavaikutuksia

Melun ollessa riittävän voimakas ja sen kestoajan ollessa riittävän pitkä, se aiheuttaa ihmiselle tilapäisen tai pysyvän kuulokyvyn heikkenemisen. Melu vaikeuttaa puheen kuulumista huonetilassa tai esim. puhelimessa. Meluisa ympäristö vaikeuttaa keskittymistä työhön, tarkkuus ja tehokkuus kärsivät, myös tapaturmien vaara lisääntyy. Meluisa ympäristö vähintään koetaan epäviihtyisäksi, hermostollinen rasitus lisääntyy. Tällaisista syistä johtuen viranomaiset ovat määränneet rajoja sallittavalle melulle työpaikoilla, asunnoissa ja asuinympäristöissä.

Tutkimusten mukaan melun vaikutus riippuu tilastollisesti melutasosta, altistusajasta ja -olosuhteista. On tarkoituksenmukaista ilmaista melutaso N-luvun (Noise Rating) avulla. Melutason antaa suurin N-käyrä, jota oktaavianalyysikäyrä sivuaa (kuvassa 22.3a, N 80). Meluluku ja äänen painetaso ovat yhtä suuret, kun $f = 1000$ Hz.



KUVA 22.3a. N-käyrästöön piirretty mitattu äänikäyrä.

Taulukko 22.3a. Melurajat, joiden yläpuolella tarvitaan meluntorjuntatoimenpiteitä. Taulukko perustuu ISO-suositukseen R 1999.

Meluluku	Suurin sallittu alttiusaika vuorokaudessa
N 85	yli 5 tuntia
N 90	2-5 tuntia
N 95	1-2 tuntia
N 105	alle 20 min.
N 120	alle 5 min.

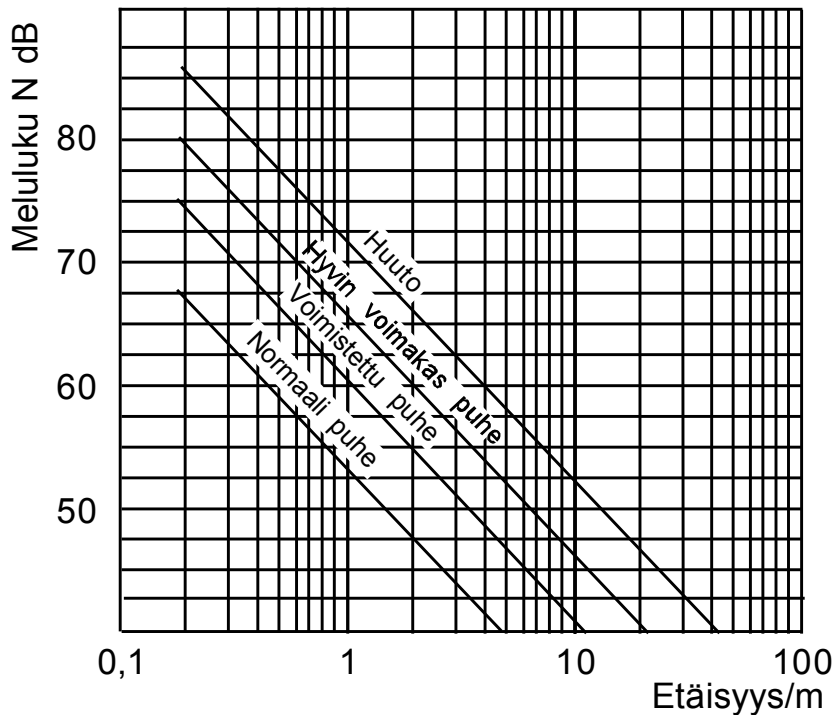
Kuulovaurion vaara

Mikäli suojaamaton korva altistetaan usean vuoden aikana melulle, joka ylittää taulukossa 22.3a annetut ohjearvot, voi seurauksena olla pysyvä kuulovaurio. Tämä riippuu melun luonteesta ja yksilöllisistä taipumuksista. Taulukon 22.3a meluluvut tarkoittavat altistusarvoa korvan kohdalla. Näitä lukuja ei pidä sekoittaa niihin äänitasoihin, jotka mitataan ja lasketaan tavallisesti koneen läheisestä äänikentästä. Taulukon 22.a arvot pätevät vain, mikäli melu ei sisällä monotonisia ääniä, jolloin ko. N-arvoja on vähennettävä noin 5 dB. Kuten taulukko 22.3a ilmaisee, on altistusajan merkitys sängen suuri.

Suomessa valtioneuvoston päätös työssä vallitsevan melun torjunnasta määrää työnantajan ryhtymään suojoimenpiteisiin, jos melutaso työpaikalla nousee yli 85 dB (A).

Äänen peittovaikutus

Kuva 22.3b havainnollistaa, miten melu vaikuttaa puheen ymmärrettävyyteen.



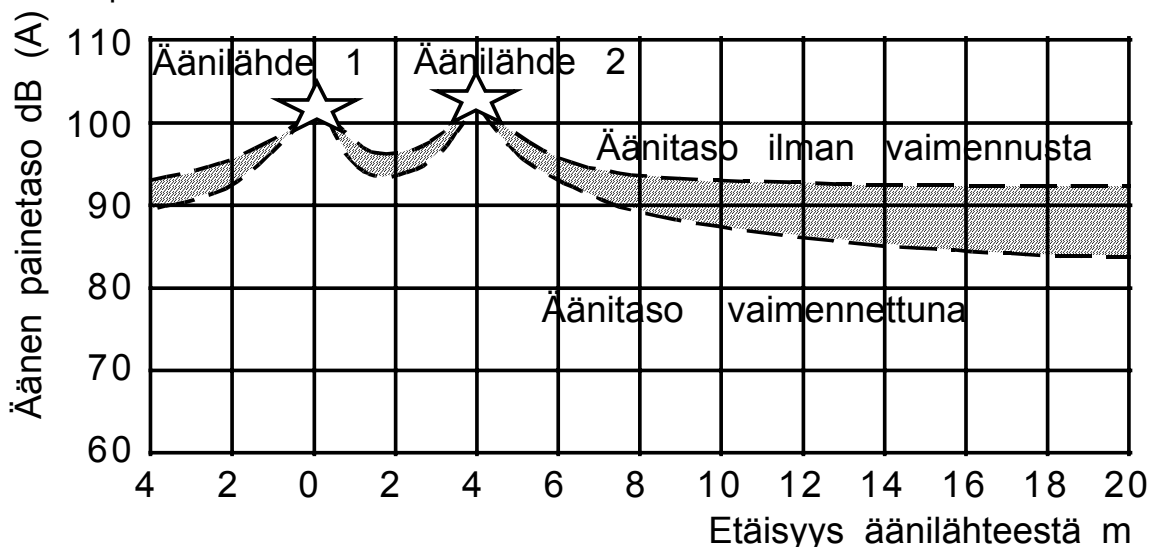
KUVA 22.3b. Puheen ymmärrettävyys melussa.

22.4. Akustisia tietoja

Huoneen äänen painetason laskemiseksi eri pisteissä tarvitaan vähintään seuraavat tiedot:

- äänilähteiden sijoitus huoneessa (työkoneet ja käyttävät koneet),
- äänilähteiden äänen tehotasot sekä
- huoneen mitat ja akustiset ominaisuudet (heijastavat ja absorboivat pinnat).

Uusissa kansainvälisissä suosituksissa kehoitetaan ilmoittamaan äänilähteen aiheuttama äänen tehotaso L_{WA} (A-suodatin). Jos vain äänen painetaso tietyllä etäisyydellä äänilähteen pinnasta on tunnettu, tarvitaan äänen painetason laskemiseksi työpaikalla lisäksi äänilähteen mittapiirustus.



KUVA 22.4a. Esimerkki äänikentästä huoneessa, jossa on kaksi äänilähdettä 4 m etäisyydellä toisistaan.

22.5. Melun torjunta

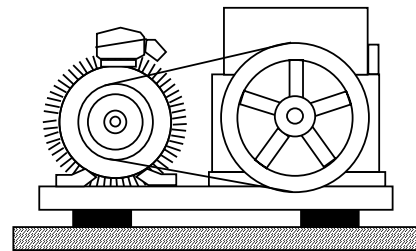
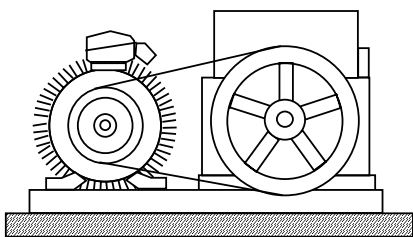
Kaikki melun torjuntatoimenpiteet edellyttävät huolellista ennakkosuunnittelua niin aikaisessa vaiheessa kuin mahdollista. Huomio tulee erityisesti kiinnittää niihin tiloihin, joissa ihmiset todella oleskelevat. Joissakin tapauksissa olisi parasta siirtää työpaikat pois meluavien koneiden lähetyviltä.

Melun torjuntatoimenpiteitä on kahdenlaisia:

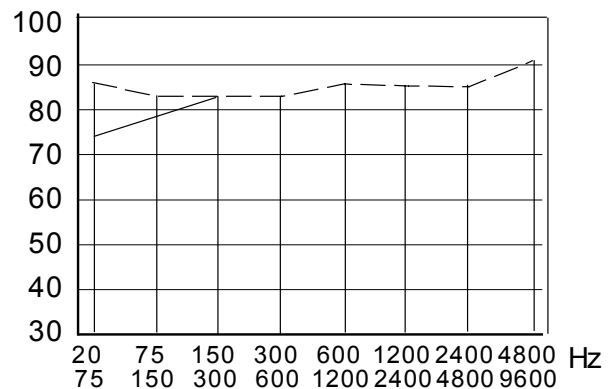
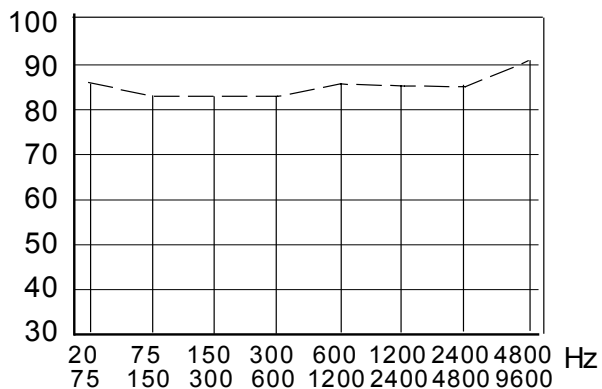
- Melulähteen rakenteelliset, melua vähentävät muutokset, jotka ovat tehokkaimmat, mutta usein vaikeita toteuttaa.
- Melun ympäristöön siirtymisen estäminen eristämällä ja / tai vaimentamalla melun lähde.

Toinen tapa on parantaa huoneakustiikkaa lisäämällä seinien absorptiokykyä.

Seuraavat kuvat 22.5a...22.5h esittävät erilaisten äänen eristys- ja vaimennustoimenpiteiden vaikutusta. Katkoviiva osoittaa äänen painetasoa ennen toimenpiteitä ja jatkuva viiva niiden jälkeen. Näissä käyriissä on taajuusjana piirretty ko. oktaavialueen puolivälin kohdalle.

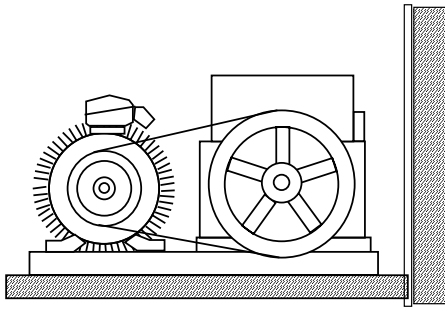


dB/oktaavi

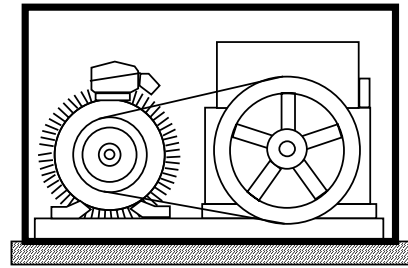
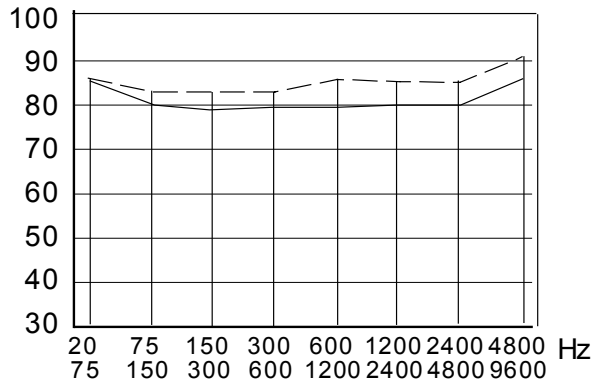


KUVA 22.5a. Eristämätön koneisto.

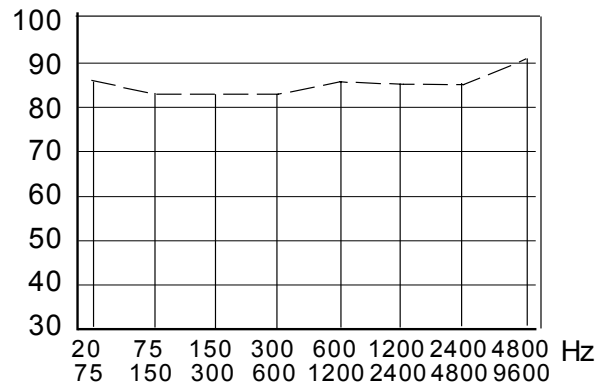
KUVA 22.5b. Runkoäänien eristys.



dB/oktaavi

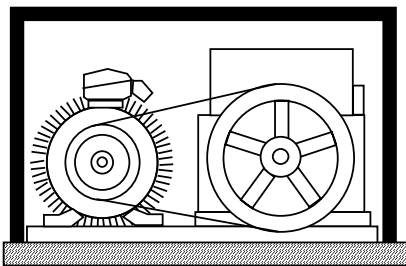


dB/oktaavi

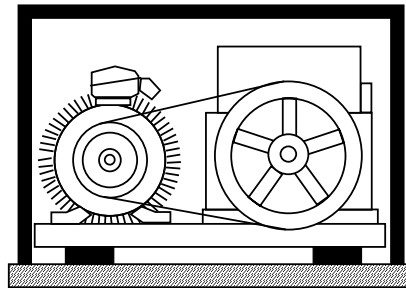
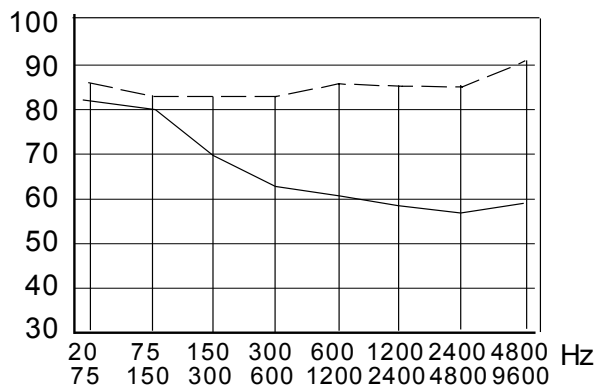


KUVA 22.5c. Eristävä ja vaimentava seinä.

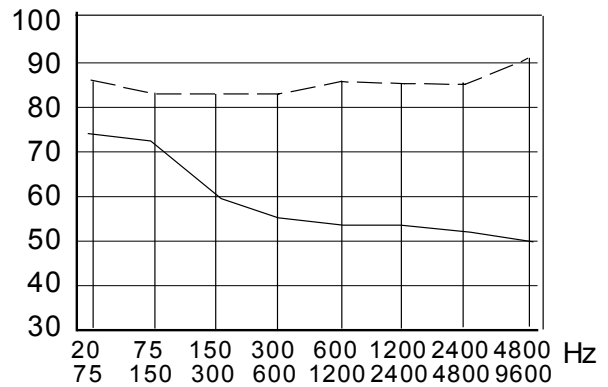
KUVA 22.5d. Huokoinen, kevyt vaimennuskotelo.



dB/oktaavi

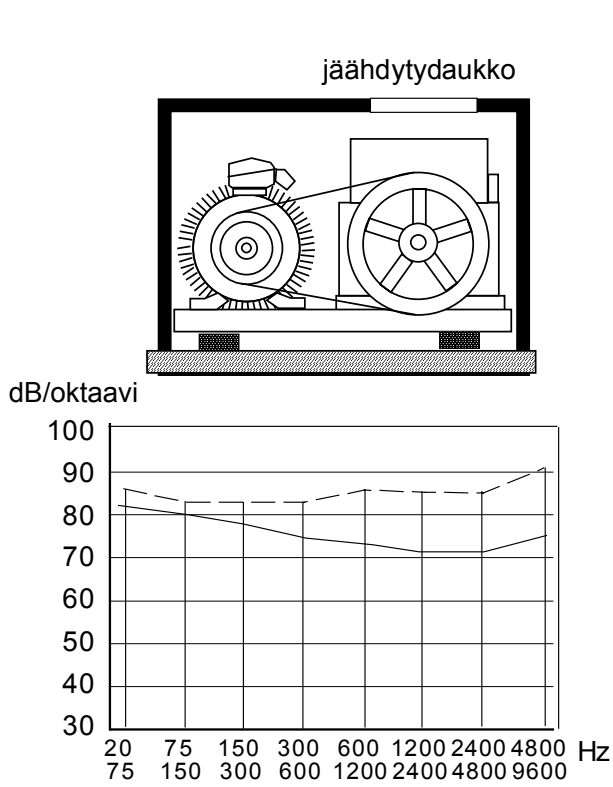


dB/oktaavi

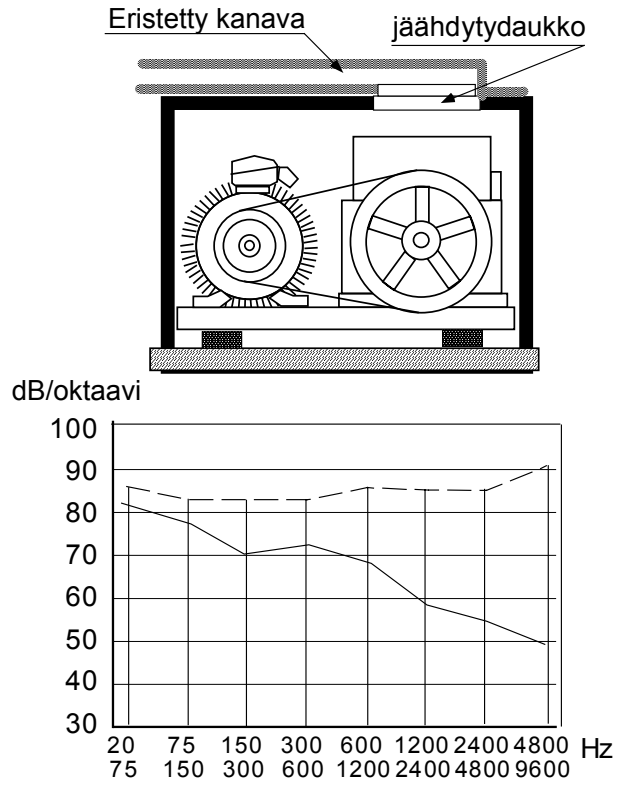


KUVA 22.5e. Painava eristyskotelo.

KUVA 22.5f. Äänen eristys, joka esittää kuvien b, d ja e summavaikutuksen.



KUVA 22.5g. Aukko seinämässä lähes mitätöi eristyksen vaikutuksen (kuvat d ja e).



KUVA 22.5h. Aukkovaimennin kompensoi jokseenkin täydellisesti aukon vaikutuksen.