

Luku 15 Äänen havaittu voimakkuus ilmaistaan desibeleinä

15-8.

$$I_1 = 10^{-4} \text{ W/m}^2, I_2 = 1,0 \text{ W/m}^2, r_1 = 12 \text{ m}$$

Äänen intensiteettien suhde on $\frac{I_1}{I_2} = \left(\frac{r_2}{r_1}\right)^2 = \frac{r_2^2}{r_1^2}$, josta etäisyydeksi saadaan

15-9.

$$I = 1,0 \text{ W/m}^2, r = 20,0 \text{ m}$$

Ääni pääsee etenemään vapaasti kaikkiin suuntiin, joten äänen energia jakaantuu pallon pinnalle. Pallon pinta-ala 20 metrin etäisyydellä on $A = 4\pi \cdot (20,0 \text{ m})^2 = 5026,55 \text{ m}^2$. Koska äänen teho

neliömetriä kohti on 1,0 W, lähettää kaiutin ääntä teholla $P = IA = 1,0 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \cdot 5026,55 \text{ m}^2 \approx 5,0 \text{ kW}$.

15-10.

$$I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$$

Intensiteettitaso voidaan ratkaista yhtälöstä $L = 10 \text{ dB} \cdot \log \frac{I}{I_0}$. Ratkaistaan intensiteettitasot

taulukkolaskentaohjelmalla. Nimetään solu, joka sisältää intensiteettitason I_0 lyhenteellä $I0$. Kukin intensiteettitaso voidaan laskea yhtälöllä $"=10*LOG((XY*I0)/(I0))"$, jossa XY on kunkin kertoimen sisältämä solu.

D2		$\sum$	=	$=10*LOG((C2*I0)/(I0))$
	A	B	C	D
1	$I0 \text{ (W/m}^2\text{)}$	Kerroin		L (dB)
2	1,00E-12		1	0
3			10	10
4			100	20
5				

Ratkaisuna saadaan kukin intensiteettitaso taulukoituna:

Kerroin	L (dB)
1	0
10	10
100	20

15-11.

$$L_1 = 90 \text{ dB}, r_1 = 1,0 \text{ m}, r_2 = 0,040 \text{ m}$$

Kuuloaluepiirroksen mukaan 90 dB:n intensiteettitasoa vastaava intensiteetti on $I_1 = 10^{-3} \text{ W/m}^2$.

Intensiteetti 0,040 m etäisyydellä lasketaan etäisyyksien neliöiden suhteen avulla $\frac{I_1}{I_2} = \frac{r_2^2}{r_1^2}$, eli

$$I_2 = \frac{I_1 r_1^2}{r_2^2} = 10^{-3} \text{ W/m}^2 \cdot \left(\frac{1,0 \text{ m}}{0,040 \text{ m}}\right)^2 = 0,625 \text{ W/m}^2.$$

Intensiteetin I_2 intensiteettitasoksi saadaan

$$L = 10 \text{ dB} \cdot \log \frac{I_2}{I_0} = 10 \text{ dB} \cdot \log \frac{0,625 \text{ W/m}^2}{10^{-12} \text{ W/m}^2} \approx 120 \text{ dB}.$$

Intensiteettitaso ylittää turvallisuusrajan ja huutaja aiheuttaa välittömän kuulovaurion riskin.

Todellisuudessa intensiteettitaso on vielä hieman korkeampi, sillä huuto summautuu ympäröivän äänen kanssa.

Luku 15 Äänen havaittu voimakkuus ilmaistaan desibeleinä

15-12.

Tiivistelmässä mainittavia asioita:

- WHO (Maailman terveysjärjestö) on selvittänyt kannettavien kuulolaitteiden vaaroja nuorten kuulolle. Selvitys perustuu 46:een eri puolilla maailmaa tehtyyn väestötutkimukseen.
- Selvityksen mukaan yli miljardin teini-ikäisen ja nuoren aikuisen kuulo on vaarassa. Kuulovaurioiden määrä on lisääntynyt voimakkaasti kannettavien musiikkilaitteiden yleistymisestä.
- Yhtä mieltä ollaan siitä, että huonokuuloisten määrä on lisääntynyt sen takia, että musiikkia kuunnellaan liian suurella äänenvoimakkuudella. Nappikuulokkeissa ja isommissa kuulokkeissa käytetään usein noin 100 dB:n intensiteettitasoa, kun melun turvarajana pidetään 85 dB:ää.
- Yli puolet kuulovaurioista voitaisiin estää, jos kuuntelutottumukset muuttuisivat.
- Syy, miksi nuoret eivät kiinnitä huomiota asiaan, on tietämättömyys. Kuulon heikkenemisen riski aliarvioidaan. Kovalle äänelle altistutaan, vaikka siltä suojautuminen olisi helppoa.

15-13.

$$L = 55 \text{ dB}, r = 3,0 \text{ m}, I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$$

- a) Puhujan äänen intensiteetti I_1 kolmen metrin etäisyydellä ratkaistaan intensiteetin kaavasta

$$L = 10 \text{ dB} \cdot \log \frac{I_1}{I_0}. \text{ Jaetaan yhtälö puolittain kymmenellä desibelillä:}$$

$$\frac{L}{10 \text{ dB}} = \log \frac{I_1}{I_0}. \text{ Poistetaan logaritmi nostamalla molemmat puolet kantaluvin kymmenen potenssiin:}$$

$$10^{L/10 \text{ dB}} = \frac{I_1}{I_0}. \text{ Intensiteetti kolmen metrin etäisyydellä on siten:}$$

$$I_1 = 10^{55 \text{ dB}/10 \text{ dB}} \cdot I_0 = 10^{5.5 \text{ dB}/10 \text{ dB}} \cdot 1 \cdot 10^{-12} = 10^{-6.5} \text{ W/m}^2.$$

Puhujan ääni on jakautunut r-säteisen pallon pinnalle, joten äänen teho saadaan intensiteetin ja pinta-alan tulona

$$P = I \cdot A = 10^{-6.5} \text{ W/m}^2 \cdot 4\pi \cdot (3,0 \text{ m})^2 = 3,5764518 \cdot 10^{-5} \text{ W} \approx 36 \cdot 10^{-6} \text{ W}.$$

- b) Koska kaikki puhujat tuottavat ääntä samalla teholla ja samalta etäisyydeltä, viiden puhujan äänen intensiteetti on $I_5 = 5I$.

Viiden puhujan tuottaman äänen intensiteettitaso lasketaan intensiteettitason yhtälöstä

$$L = 10 \text{ dB} \cdot \log \frac{5I_1}{I_0} = 10 \text{ dB} \cdot \log \frac{5 \cdot 1,0 \cdot 10^{-6.5} \text{ W/m}^2}{10^{-12} \text{ W/m}^2}$$

$$= 10 \text{ dB} \cdot \log(5,0 \cdot 10^{5.5}) \approx 62 \text{ dB}.$$

15-14.

$$P = 65 \text{ W}, r = 15 \text{ m}$$

Äänen intensiteetti lasketaan yhtälöstä $I = \frac{P}{A}$, jossa A on puolipallon pinta-ala $A = \frac{4\pi r^2}{2}$.

$$\text{Intensiteetti 15 metrin etäisyydellä on } I = \frac{P}{\frac{4\pi r^2}{2}} = \frac{65 \text{ W}}{2\pi \cdot (15 \text{ m})^2} = 0,0459781 \text{ W/m}^2.$$

Äänen intensiteettitaso on:

$$L = 10 \text{ dB} \cdot \log \frac{I_2}{I_0} = 10 \text{ dB} \cdot \log \frac{0,0459781 \text{ W/m}^2}{10^{-12} \text{ W/m}^2} \approx 110 \text{ dB}.$$

Luku 15 Äänen havaittu voimakkuus ilmaistaan desibeleinä

15-15.

$$L_1 = 100 \text{ dB}$$

Tapa 1.

Kuuloaluepiirroksen mukaan 100 dB:n intensiteettitasoa vastaava intensiteetti on $I_1 = 10^{-2} \text{ W/m}^2$. Kymmenen lehtipuhaltimen äänen intensiteetti on $I = 10 I_1 = 10^{-1} \text{ W/m}^2$. Kymmenen lehtipuhaltimen äänen intensiteettitaso on silloin

$$L_{10} = 10 \text{ dB} \cdot \log \frac{I}{I_0} = 10 \text{ dB} \cdot \log \frac{10 \cdot 10^{-2} \text{ W/m}^2}{10^{-12} \text{ W/m}^2} = 10 \text{ dB} \cdot \log 10^{11} = 11 \cdot 10 \text{ dB} = 110 \text{ dB}.$$

Tapa 2.

Intensiteettitaso kasvaa logaritmisella asteikolla suhteessa intensiteettiin. Intensiteetin kymmenkertaistaminen nostaa intensiteettitasoa yhden belin, eli 10 dB. Kymmenen lehtipuhaltimen tuottama intensiteettitaso on siten 110 dB.

15-16.

- a) Asuinalueella keskimääräisen melutason tulisi päiväsaikaan pysyä piha-alueilla pienempänä kuin 55 dB. Melutasoa voidaan alentaa vaikuttamalla liikenteestä syntyvän äänen voimakkuuteen ja estämällä äänen etenemistä. Lähtömelutasoa voidaan alentaa nopeusrajoituksilla, liikennemäärän pienentämisellä, vähentämällä raskaiden ajoneuvojen osuutta ajoväylällä, huolehtimalla liikenteen sujumisesta eli siitä, että autojen välimatkat ovat pitkiä, ja käyttämällä vähän melua tuottavaa päällystettä. Äänen etenemistä voidaan estää rakentamalla meluaitoja, -kaiteita ja -valleja sekä tunneleita ja istuttamalla tien ja asuinalueen väliin kasvillisuutta. Asuntoja rakennettaessa voidaan kiinnittää huomiota mm. talojen sijaintiin tiehen nähden ja ikkunoiden, ovien ja seinämateriaalien äänieristykseen.

- b) $L = 74 \text{ dB}$. $r_1 = 2,0 \text{ m}$. $r_2 = 8,0 \text{ m}$, $I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$

Intensiteettitason yhtälöstä $L = 10 \text{ dB} \cdot \log \frac{I}{I_0}$ seuraa yhtälö $\frac{L}{10 \text{ dB}} = \log \frac{I}{I_0}$. Silloin $\frac{I}{I_0} = 10^{L/(10 \text{ dB})}$

eli $I = I_0 \cdot 10^{L/(10 \text{ dB})}$. Intensiteettitasoa 74 dB vastaava äänen intensiteetti on

$$I = I_0 10^{L/(10 \text{ dB})} = 10^{-12} \text{ W/m}^2 \cdot 10^{(74 \text{ dB})/(10 \text{ dB})} = 2,51189 \cdot 10^{-5} \text{ W/m}^2.$$

Äänen intensiteetti heikkenee etäisyyden kasvaessa lain $I \sim 1/r^2$ mukaan, joten kun etäisyys äänilähteestä nelinkertaistuu, intensiteetti pienenee kuudestoistaosaan alkuperäisestä. Etäisyydellä 8,0 m intensiteetti on

$$I_1 = \frac{2,51189 \cdot 10^{-5} \text{ W/m}^2}{16} = 1,56993 \cdot 10^{-6} \text{ W/m}^2$$

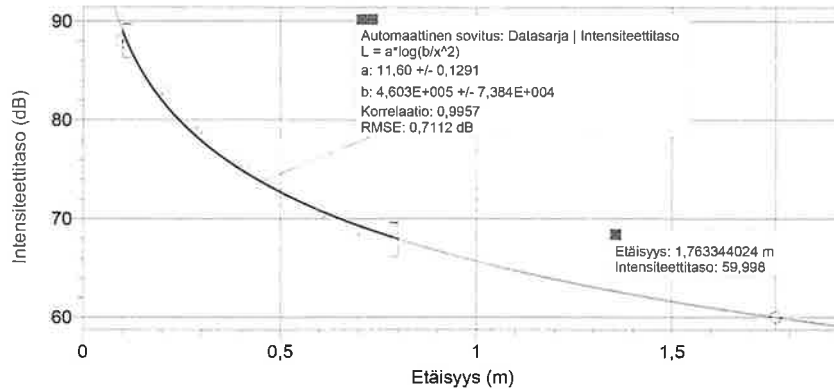
ja intensiteettitaso

$$L_1 = 10 \text{ dB} \cdot \log \frac{I_1}{I_0} = 10 \text{ dB} \cdot \log \frac{1,56993 \cdot 10^{-6} \text{ W/m}^2}{10^{-12} \text{ W/m}^2} \approx 62 \text{ dB}.$$

Luku 15 Äänen havaittu voimakkuus ilmaistaan desibeleinä

15-17.

- a) Sovitetaan mittauspisteisiin käyrä $L = a \log \frac{b}{x^2}$. Koska intensiteetti on kääntäen verrannollinen etäisyyden neliöön x^2 , havaitaan intensiteettitaso yhtälöstä $L = 10 \text{ dB} \cdot \log \frac{I}{I_0}$, että L :n riippuvuus etäisyydestä on muotoa $\log \frac{1}{x^2}$.



- b) Käyrästä voidaan nähdä, että intensiteettitaso on 60 dB noin etäisyydellä 1,8 m.

15-18.

- a) Samanarvoisella jatkuvalla A-äänitasolla (L_{Aeq}) tarkoitetaan tietyllä tarkasteluajalla, esimerkiksi työpäivän aikana, vallinnutta keskimääräistä äänen intensiteettitasoa. Sen määrittämiseksi mitataan tarkasteluajana melun kokonaisäänien energia ja jaetaan se tasaisesti koko tarkasteluajalle ja lasketaan siitä vastaava intensiteettitaso. Tämä on piirretty kuvaan vaakasuoralla viivalla.
- b) Kipukynnys vastaa intensiteettitasoa noin 120 dB. Kuvaajasta nähdään, että ääni ei ylitä kipukynnystä päivän aikana.
- c) Koska keskimääräinen äänen intensiteettitaso ylittää päivän aikana 80 dB, työnantaja on ollut velvollinen antamaan työntekijälle henkilökohtaisen kuulosuojaimen.
- d) Alentuneesta äänen intensiteettitasosta voidaan päätellä, että työntekijä on poissa työpisteeltään, todennäköisesti ruokatuntia viettämässä, kello 11 ja 12 välisen ajan.

15-19.

$$L_1 = 41 \text{ dB}, L_2 = 65 \text{ dB}$$

Tyhjän salin äänen intensiteetti I_1 saadaan yhtälöstä $L_1 = 10 \text{ dB} \cdot \log \frac{I_1}{I_0}$, kun $L_1 = 41 \text{ dB}$, eli

$$I_1 = I_0 \cdot 10^{L_1/(10 \text{ dB})} = 10^{-12} \text{ W/m}^2 \cdot 10^{(41 \text{ dB})/(10 \text{ dB})} = 1,25893 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2.$$

Täyden salin äänen intensiteetti on $L_2 = 10 \text{ dB} \cdot \log \frac{I_2}{I_0}$, kun $L_2 = 65 \text{ dB}$ eli

$$I_2 = I_0 \cdot 10^{L_2/(10 \text{ dB})} = 10^{-12} \text{ W/m}^2 \cdot 10^{(65 \text{ dB})/(10 \text{ dB})} = 3,16228 \cdot 10^{-6} \text{ W/m}^2.$$

Sadan oppilaan aiheuttaman äänen intensiteetti on

$$I_{100} = 3,16228 \cdot 10^{-6} \text{ W/m}^2 - 1,25893 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2 = 3,14969 \cdot 10^{-6} \text{ W/m}^2.$$

Luku 15 Äänen havaittu voimakkuus ilmaistaan desibeleinä

50 oppilaan aiheuttaman äänen intensiteetti on puolet tästä eli $I_{50} = 1,57485 \cdot 10^{-6} \text{ W/m}^2$, joten salissa olevan äänen intensiteetti on silloin $I = 1,57485 \cdot 10^{-6} \text{ W/m}^2 + 1,25893 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2 = 1,58744 \cdot 10^{-6} \text{ W/m}^2$. Puoliksi täyden salin intensiteettitaso on silloin

$$L = 10 \text{ dB} \cdot \log \frac{I}{I_0} = 10 \text{ dB} \cdot \log \frac{1,58744 \cdot 10^{-6} \text{ W/m}^2}{10^{-12} \text{ W/m}^2} \approx 62 \text{ dB}.$$

15-20.

$$L_0 = 85 \text{ dB}$$

- Kun kaksi äänilähdettä tuottavat saman intensiteetin, niiden yhdistelmän intensiteettitaso on noin 3 dB korkeampi kuin alkuperäisten lähteiden. Kun taustamelun intensiteettitaso on 85 dB, yhdistelmän intensiteettitaso on 88 dB. Intensiteettitasolla 88 dB turvallisuusraja meluallistukselle on neljä tuntia.
- Vastamelukuulokkeiden toiminta perustuu äänen interferenssiin. Vastamelukuulokkeissa on yleensä mikrofoni, joka tarkkailee kuulokkeiden ulkopuolelta tulevia ääniä. Ulkopuolinen ääni toistetaan kuulokkeista, mutta siten, että äänen vaihe on käännetty vastakkaiseksi. Alkuperäinen ei-toivottu ääni interferoi kaiuttimesta tuotetun äänen kanssa destruktivisesti ja kuuntelija ei enää havaitse sitä. Vastamelukuulokkeet toimivat erityisen hyvin jatkuvan ja ennustettavan melun vaimentamisessa.
- Rengasmelua voi vaimentaa vastamelukuulokkeilla, mutta ei autoradion kaiuttimilla. Jotta vastamelutekniikkaa voi käyttää, kuuntelijan paikka täytyy tuntea tarkasti. Jos rengasmelua yrittäisi vaimentaa auton kaiuttimien avulla kuljettajan kohdassa, muut matkustajat saattaisivat joutua pisteeseen, jossa interferenssi on vahvistava. Äänen korkeilla taajuuksilla (lyhyt aallonpituus) interferenssikuvio on niin tiheä, että jo pieni päänsiirtäminen muuttaisi kuulokuvaa.

Vastamelutekniikkaa vastaavia tekniikoita voidaan kuitenkin toteuttaa myös kaiuttimilla, jos kompensoiva kaiutin on lähellä melun aiheuttavaa lähdettä.

15-21.

Auton sisätiloissa äänen intensiteettitaso on tyypillisesti noin 70–85 desibeliä, joten alle 8 tunnin autoilu on kuulolle vaaratonta. Autoillessa kuunnellaan usein radiota, jonka äänenvoimakkuutta nostetaan siten, että puhe ja musiikki erottuvat rengasmelun yli. Tällöin intensiteettitaso saattaa ylittää jopa 90 dB:n rajan. Pitkään jatkuvassa altistuksessa kuulovaurio voi syntyä.

15-22.

Tyypillisiä intensiteettitasoja metrin etäisyydellä laitteesta:

Laite	L (dB)
Jääkaappi	40
Hiustenleikkuukone	50
Sähköhammasharja	60
Hiustenkuivaaja	70
Pölynimuri	80
Tehosekoitin	90

Teoriassa äänen intensiteettitaso tulisi laskea 6 dB aina etäisyyden kaksinkertaistuessa. Kotioloissa tehdyissä mittauksissa on kuitenkin useita virhelähteitä:

- Ääni heijastuu seinistä, katosta ja lattiasta, joten ääni vaimenee hieman hitaammin.
- Ympäröivä melu (ilmastointi, muut kodinkoneet, keskustelu) summautuu mitattavan äänen kanssa, joten mitattu intensiteettitaso ei aina laske odotetusti etäisyyden kasvaessa.
- Jos mittalaitetta pidetään kädessä, sen käsittelystä aiheutuvat äänet saattavat häiritä mittausta.
- Huoneeseen saattaa muodostua seisovia ääniaaltoja. Äänen intensiteettitaso vaihtelee riippuen siitä, tehdäänkö mittausta kuvun vai solmukohdan alueella.