

10. Äänen intensiteettitaso

Tehtävä 10.1.

Oikeat väitteet: c), e), f)

Väärät väitteet: a), b), d)

Korjaukset vääriin väitteisiin:

a) Äänen intensiteetti on äänen teho pinta-alaa kohden.

b) Korkeat äänet absorboituvat väliaineeseen matalia ääniä enemmän ja siksi vaimenevat paremmin.

d) Ultraäänen taajuus on yli 20 000 Hz.

Tehtävä 10.2.

etäisyys summerista $r_1 = 1,5 \text{ m}$

intensiteetti $1,5 \text{ m:n}$ etäisyydellä summerista
 $I_1 = 1,0 \cdot 10^{-3} \text{ W/m}^2$

pienin intensiteetti, jolla äänen voi kuulla $1\ 000 \text{ Hz}$
taajuudella $I_2 = 1,0 \cdot 10^{-12} \text{ W/m}^2$

etäisyys, jolta äänen voi vielä kuulla r_2

Pistemäisen äänilähteen intensiteetti on kääntäen
verrannollinen etäisyyden neliöön, eli

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{r_2^2}{r_1^2}.$$

Summerin äänen kuuleminen on vielä teoriassa
mahdollista, kun etäisyys on

$$r_2 = \sqrt{\frac{I_1}{I_2}} r_1 = \sqrt{\frac{1,0 \cdot 10^{-3} \frac{\text{W}}{\text{m}^2}}{1,0 \cdot 10^{-12} \frac{\text{W}}{\text{m}^2}}} \cdot 1,5 \text{ m} = 47434,16 \text{ m} = 47,434\ 16 \text{ km} \approx 47 \text{ km}.$$

Summerin ääntä ei voi kuulla 47 kilometrin päästä.

Käytännössä matka on paljon lyhyempi, sillä ilma absorboi
äänen energiaa matkalla.

Tehtävä 10.3.

- a) Infraääni on ääntä, jonka taajuus on alle 20 Hz.
Ultraääni on ääntä, jonka taajuus on yli 20 000 Hz
Ihminen ei voi kuulla infra- eikä ultraääntä.
- b) Koirapilli lähettää ultraääntä, eli ääntä, jonka taajuus on yli 20 kHz. Ihminen ei kuule näin korkeaa ääntä. Koiran kuuloalue on laajempi, minkä vuoksi koira kuulee koirapillin äänen.

Tehtävä 10.4.

a) äänen intensiteetti $I = 120 \mu\text{W}/\text{m}^2$

Äänen intensiteettitaso on

$$L = 10 \lg \left(\frac{120 \cdot 10^{-6} \frac{\text{W}}{\text{m}^2}}{10^{-12} \frac{\text{W}}{\text{m}^2}} \right) \text{dB} = 80,79 \text{ dB} \approx 81 \text{ dB}.$$

b) Intensiteettitason asteikko on logaritminen. 10 dB kasvu intensiteettitasossa tarkoittaa intensiteetin 10^1 eli 10-kertaistumista. Intensiteettitason kasvu 50 dB:llä tarkoittaa intensiteetin 10^5 eli 100 000-kertaistumista. Näin ollen konsertin äänen intensiteetti on 100 000 kertaa suurempi kuin jääkaapin äänen intensiteetti.

Tehtävä 10.5.

- a) Äänekkyydystason arvo 0 fon tarkoittaa äänen intensiteettiä, jonka ihminen juuri ja juuri kuulee.

- b) Korva on herkin sille taajuudelle, jolla 0 fon -käyrän intensiteetin arvo on pienimmillään. Korva on herkin noin 2 000–5 000 Hz taajuuksille.

Tehtävä 10.6.

- a) Melu on häiritsevää, epämiellyttävää tai kuulolle haitallista ääntä.

- b) Jos työympäristön melun intensiteettitaso ylittää 80 dB, on työnantajan tarjottava työntekijälle kuulosuojaimet. Mitä suurempi intensiteettitaso on, sitä lyhyempiä aikoja melussa voi oleskella.

- c) Jatkuva meluallistuminen voi aiheuttaa ihmiselle stressiä, nostaa verenpainetta ja lisätä riskiä sydänsairauksiin. Myös kuulo voi vaurioitua jatkuvasta meluallistuksesta.

Tehtävä 10.7.

Merkitään koneen tuottaman äänen intensiteettiä ennen muutosta tunnuksella I . Äänen intensiteetti kolminkertaistuu, jolloin ennen etäisyyden muutosta $I_1 = 3I$. Äänen intensiteetti lopussa, I_2 , pitää olla yhtä suuri kuin ennen intensiteetin muutosta. Tällöin $I_2 = I$.
Etäisyys alussa on r_1 .

Äänen intensiteetti on kääntäen verrannollinen etäisyyden neliöön

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{r_2^2}{r_1^2}$$
$$\frac{3I}{I} = \frac{r_2^2}{r_1^2}.$$

Etäisyydeksi saadaan

$$r_2^2 = \frac{3r_1^2}{1}$$
$$r_2 = \sqrt{3r_1^2}$$
$$r_2 = \sqrt{3}r_1.$$

Etäisyyden pitää kasvaa $\sqrt{3}$ -kertaiseksi eli noin 1,7-kertaiseksi alkuperäiseen etäisyyteen nähden.

Tehtävä 10.8.

etäisyys alussa $r_1 = 1,0 \text{ m}$

etäisyys lopussa $r_2 = 2,5 \text{ m}$

intensiteetti alussa $I_1 = 1,4 \cdot 10^{-3,8} \text{ W/m}^2$

Äänen intensiteetti on kääntäen verrannollinen etäisyyden neliöön $I \sim \frac{1}{r^2}$. Intensiteettien suhteeksi saadaan $\frac{I_1}{I_2} = \frac{r_2^2}{r_1^2}$.

Yhden lehtipuhaltimen tuottaman äänen intensiteetti 1,5 metrin etäisyydellä on

$$I_2 = \frac{r_1^2}{r_2^2} I_1.$$

Kahden lehtipuhaltimen tuottaman äänen intensiteetti 2,5 metrin etäisyydellä on

$$I = 2I_2 = 2I_1 \frac{r_1^2}{r_2^2} = 2 \cdot 1,4 \cdot 10^{-3,8} \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \cdot \frac{(1,5 \text{ m})^2}{(2,5 \text{ m})^2} = 1,59757 \cdot 10^{-4} \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \approx 1,6 \cdot 10^{-4} \frac{\text{W}}{\text{m}^2}.$$

$$\text{Vastaus: } 1,6 \cdot 10^{-4} \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

Tehtävä 10.9.

a) Kuultavan äänen voimakkuus kuvaa äänen intensiteettiä ja äänen korkeus äänen taajuutta.

b) etäisyys koirasta alussa $r_1 = 10$ m

intensiteetti etäisyydellä r_1 on $I_1 = 8 \cdot 10^{-7} \text{ W/m}^2$

intensiteetti etäisyydellä r_2 on $I_2 = 1 \cdot 10^{-12} \text{ W/m}^2$

Intensiteetti on kääntäen verrannollinen etäisyyden neliöön, jolloin intensiteettien ja etäisyyksien neliön välille saadaan yhtälö

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{r_2^2}{r_1^2}.$$

Etäisyys, jolla haukku vielä kuuluu, on

$$r_2^2 = \frac{I_1}{I_2} r_1^2$$

$$r_2 = \sqrt{\frac{I_1}{I_2} r_1^2} = \sqrt{\frac{I_1}{I_2}} r_1 = \sqrt{\frac{8 \cdot 10^{-7} \frac{\text{W}}{\text{m}^2}}{1 \cdot 10^{-12} \frac{\text{W}}{\text{m}^2}}} \cdot 10 \text{ m} = 8\,944,27 \text{ m} \approx 9 \text{ km}.$$

Tehtävä 10.10.

äänen intensiteettitaso aluksi L_1

äänen intensiteettitaso lopuksi $L_2 = L_1 + 1,0 \text{ dB}$

äänen intensiteetti aluksi I_1

äänen intensiteetti lopuksi I_2

Äänen intensiteettitaso esitetään yhtälöllä

$$L = 10 \lg \left(\frac{I}{I_0} \right) \text{ dB}, \text{ joten äänen intensiteetti on } I = I_0 \cdot 10^{\frac{L}{10 \text{ dB}}}.$$

Äänen intensiteetin suhteellinen muutos on

$$\begin{aligned} \frac{I_2}{I_1} &= \frac{I_0 \cdot 10^{\frac{L_2}{10 \text{ dB}}}}{I_0 \cdot 10^{\frac{L_1}{10 \text{ dB}}}} = 10^{\frac{L_2}{10 \text{ dB}} - \frac{L_1}{10 \text{ dB}}} \\ &= 10^{\frac{L_1 + 1,0 \text{ dB}}{10 \text{ dB}} - \frac{L_1}{10 \text{ dB}}} = 10^{\frac{1,0 \text{ dB}}{10 \text{ dB}}} \\ &= 10^{\frac{1}{10}} = 1,258\,9254 \approx 1,26 \end{aligned}$$

Äänen intensiteetti kasvaa 26 %, kun äänen intensiteettitaso kasvaa 1,0 dB.

Tehtävä 10.11.

etäisyys alussa $r_1 = 2,1$ cm

intensiteettitaso alussa $I_1 = 62$ dB

vertailuintensiteetti $I_0 = 1 \cdot 10^{-12}$ W/m²

a) Kuulokkeen tärykalvolle aiheuttama intensiteetti saadaan intensiteettitasosta

$$L_1 = 10 \lg \left(\frac{I_1}{I_0} \right) \text{ dB} \quad \parallel : 10 \text{ dB}$$

$$\frac{L_1}{10 \text{ dB}} = \lg \left(\frac{I_1}{I_0} \right) \quad \parallel 10^{(\cdot)}$$

$$10^{\lg \left(\frac{I_1}{I_0} \right)} = 10^{\frac{L_1}{10 \text{ dB}}}$$

$$\frac{I_1}{I_0} = 10^{\frac{L_1}{10 \text{ dB}}} \quad \parallel \cdot I_0$$

$$I_1 = I_0 \cdot 10^{\frac{L_1}{10 \text{ dB}}}$$

$$= 1 \cdot 10^{-12} \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \cdot 10^{\frac{62 \text{ dB}}{10 \text{ dB}}} = 1 \cdot 10^{-12} \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \cdot 10^{6,2} = 1 \cdot 10^{-5,8} \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

$$= 1,58489 \cdot 10^{-6} \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \approx 1,6 \cdot 10^{-6} \frac{\text{W}}{\text{m}^2}.$$

b) etäisyys lopussa $r_1 = 3,7$ cm

Äänilähteen tuottaman äänen intensiteetti on kääntäen verrannollinen etäisyyden neliöön $I \sim \frac{1}{r^2}$. Intensiteettien

suhteeksi saadaan $\frac{I_1}{I_2} = \frac{r_2^2}{r_1^2}$.

Kuulokkeen tuottama intensiteetti 3,7 cm etäisyydellä on

$$I_2 = \frac{r_1^2}{r_2^2} I_1 = \frac{(2,1 \text{ cm})^2}{(3,7 \text{ cm})^2} \cdot 1,58489 \cdot 10^{-6} \frac{\text{W}}{\text{m}^2} = 5,10546 \cdot 10^{-7} \frac{\text{W}}{\text{m}^2}.$$

Kuulokkeen tuottaman äänen intensiteettitaso 3,7 cm etäisyydellä on

$$L_2 = 10 \lg \left(\frac{I_2}{I_0} \right) \text{dB} = 10 \lg \left(\frac{\frac{r_1^2}{r_2^2} I_1}{I_0} \right) \text{dB}$$
$$L_2 = 10 \lg \left(\frac{\frac{(2,1 \text{ cm})^2}{(3,7 \text{ cm})^2} \cdot 1,58489 \cdot 10^{-6} \frac{\text{W}}{\text{m}^2}}{1,0 \cdot 10^{-12} \frac{\text{W}}{\text{m}^2}} \right) \text{dB} = 57,080 \text{ dB} \approx 57 \text{ dB}.$$

Tehtävä 10.12.

- a) Kuvaajasta luettuna 2 000 Hz:n ääni, jonka intensiteetti on $0,50 \text{ W/m}^2$ tuottaa kipua.
- b) Ihmisen kuulokynnys on 0 fon. Tätä käyrää tutkimalla voidaan todeta, että ihminen kuulee 50 Hz:n äänen, jos äänen intensiteettitaso on noin 44 dB. Ihminen ei siis kuule 50 Hz:n ääntä, jonka intensiteettitaso on 40 dB.
- c) Kaavion perusteella ihminen aistii paremmin suuria kuin pieniä taajuuksia eli ihminen kuulee korkeat äänet matalia paremmin. Jotta bassokaiutinelementin tuottaman äänen kuuloaistimus saadaan yhtä voimakkaaksi kuin keski- ja diskanttielementtien tuottamien äänten kuuloaistimus, bassokaiuttimelle pitää tuoda signaali suurella teholla. Suurempi teho tuottaa suuremman äänen intensiteetin.

Tehtävä 10.13.

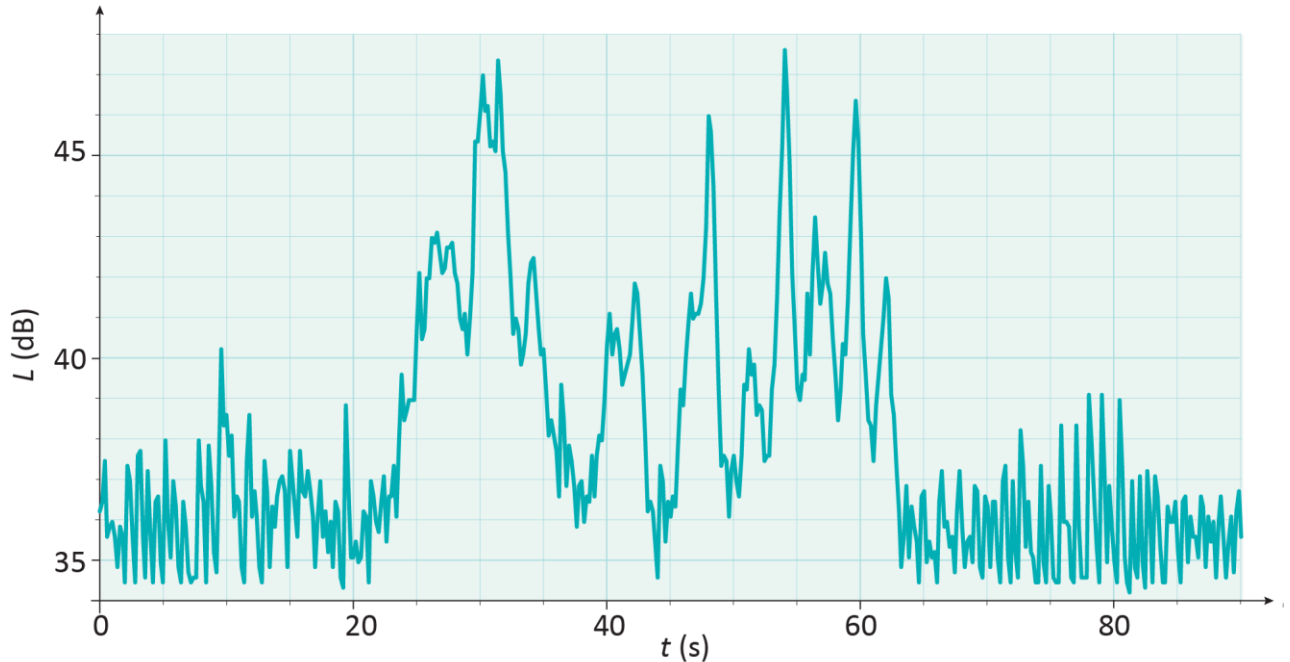
- a) Videon taustamelu saadaan silloin, kun porakone ei ole päällä. Videon mukaan huoneen taustamelu on noin 51 dB
- b) Kun etäisyys porakoneesta kasvaa, pienenee äänen intensiteettitaso huomattavasti. Äänilähteen teho jakaantuu sitä suuremmalle pinta-alalle, mitä kauemmaksi kasvaa etäisyys porakoneesta. Äänen intensiteetti on tällöin kääntäen verrannollinen etäisyyden neliöön.

Tehtävä 10.14.

- a) Ihmisen kuuloalueen taajuuden alaraja on 20 Hz ja yläraja 20 000 Hz. Kuuloalue on kuitenkin yksilöllinen. Vanhemmilla ihmisillä kuuloalueen yläraja saattaa olla selvästi alle 20 000 Hz.
- b) Ihminen kuulee parhaiten äänet, joiden taajuus on 3 000–4 000 Hz.

Tehtävä 10.15.

a)



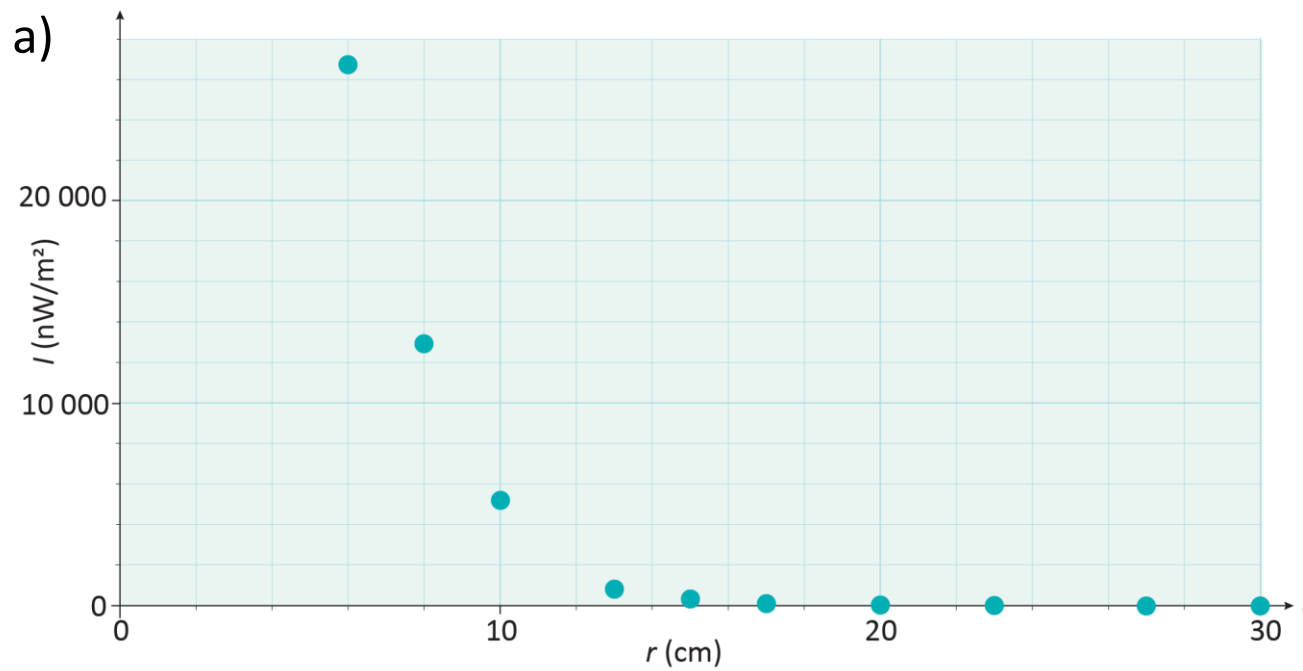
b) Kun autot lähtevät liikennevaloista, äänen intensiteetti ja intensiteettitaso kasvavat. Autot lähtivät liikkeelle ajanhetkellä 30 s, sillä silloin melun intensiteettitaso nousi noin 36 dB:sta 41 dB:iin.

c) Melun intensiteettitaso b-kohdan mukaan oli noin 36 dB, kun autot olivat paikoillaan. Intensiteettitaso nousi noin 41 dB:iin. Intensiteettitason muutos on

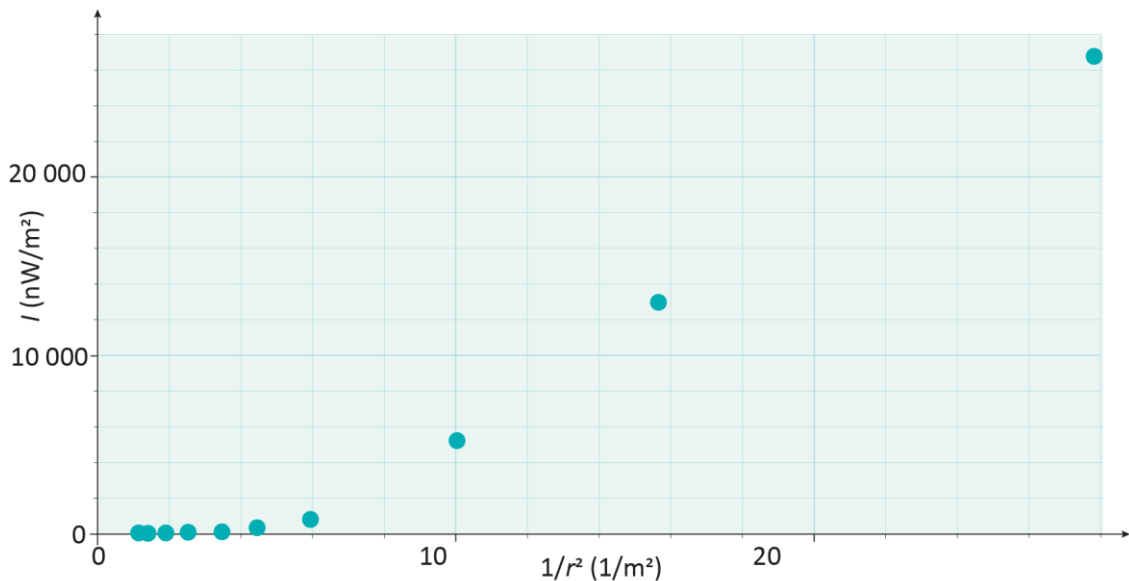
$$\Delta L = 41 \text{ dB} - 36 \text{ dB} = 5 \text{ dB}.$$

Vastaus: c) 5 dB

Tehtävä 10.16.



b) Pistemäisen äänilähteen tuottaman äänen intensiteetti on kääntäen verrannollinen etäisyyden neliöön $I \sim \frac{1}{r^2}$. Tällöin $(1/r^2, I)$ -koordinaatiston kuvaajana pitäisi olla nouseva suora. Lasketaan uuteen sarakkeeseen $1/r^2$ ja esitetään saadut tulokset $(1/r^2, I)$ -koordinaatistossa.

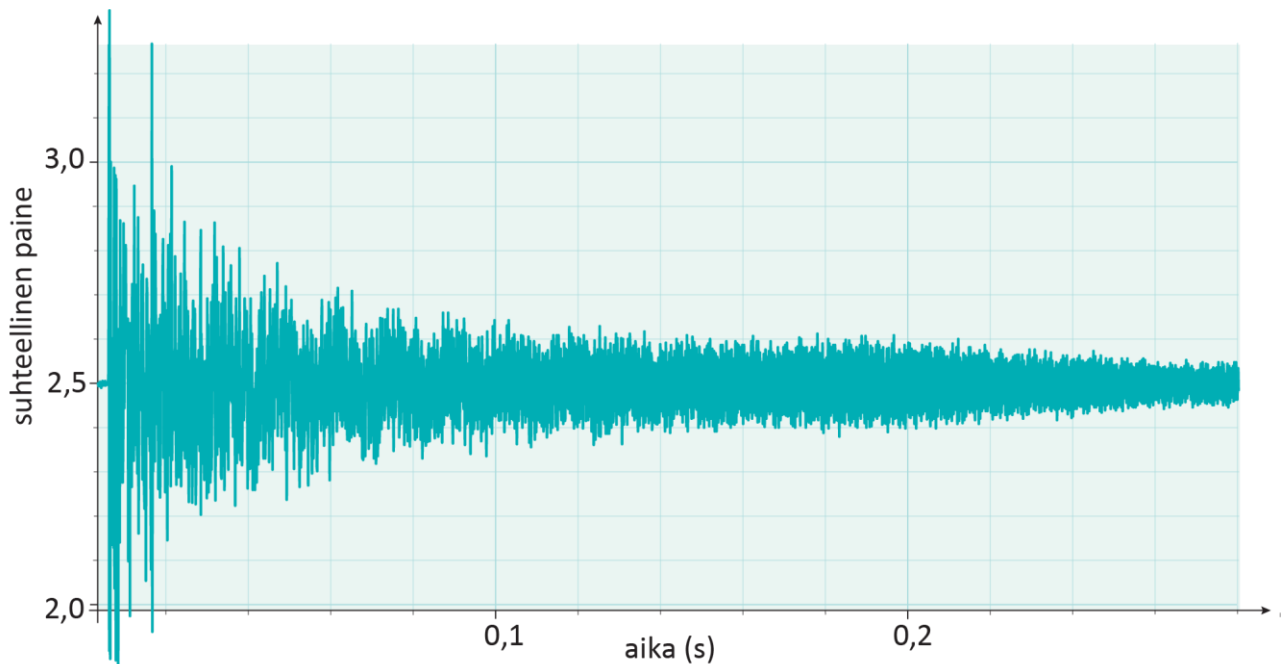


Huomataan, että intensiteetin ollessa 870 nW/m^2 kuvaaja alkaa nousta lineaarisesti. Tämä tarkoittaa, että ääni noudattaisi pistemäisen äänilähteen teoreettista mallia, kun äänen etäisyys kaiuttimesta on alle 13 cm. Koska kuvaajana ei ole nouseva suora, ei kaiutin noudata pistemäisen äänilähteen teoreettista mallia.

Kun ääni etenee huoneessa, osa äänestä heijastuu huoneessa olevista esineistä ja seinistä. Heijastunut ääni lisää huoneen taustamelua. Mittauksen perusteella yli 13 cm etäisyyden jälkeen intensiteettitaso muutos alkaa pienentyä, joten intensiteettitaso alkaa lähestyä huoneen taustamelun tasoa.

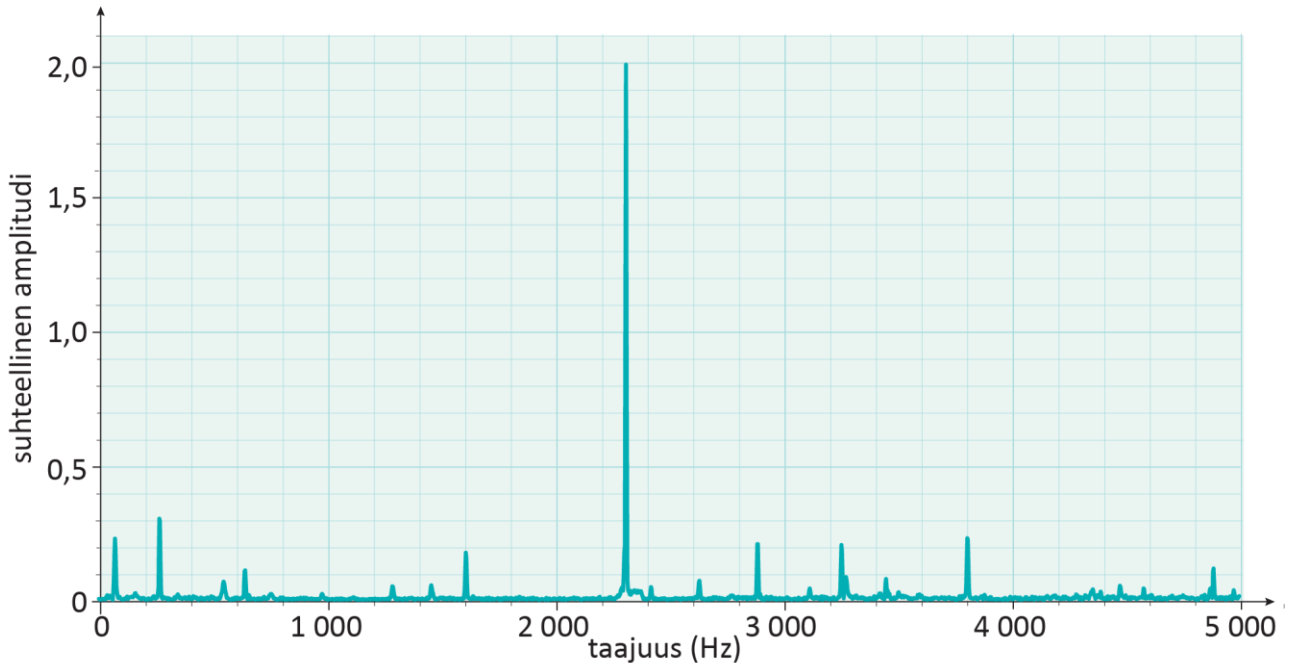
Tehtävä 10.17.

Esitetään alasimen ilmaan synnyttämän äänen suhteellinen paineen vaihtelu ajan suhteen.



Kuvaajasta nähdään, että äänen suhteellinen paine pienenee hyvin nopeasti. Tämä tarkoittaa sitä, että alasimen tuottaman äänen intensiteetti pienenee.

b) Tehdään mittausaineistosta FFT-muunnoksen avulla taajuusjakauma eli äänen spektri.



Yhden värähtelytaajuuden amplitudi on selvästi muita suurempi. Kuvaajan perusteella äänen taajuus $f = 2\,309,57\text{ Hz} \approx 2\,300\text{ Hz}$ erottuu parhaiten.

Tehtävä 10.18.

etäisyys koneesta alussa $r_1 = 1,2$ m

äänen intensiteettitaso etäisyydellä r_1 on $L_1 = 94$ dB

vertailuintensiteetti $I_0 = 1,0 \cdot 10^{-12}$ W/m²

Jos työympäristön melun intensiteettitaso ylittää 80 dB, on työnantajan tarjottava työntekijälle kuulosuojaimet.

Lasketaan koneen tuottaman äänen intensiteetti 1,2 metrin etäisyydellä koneesta.

$$L_1 = 10 \lg \left(\frac{I_1}{I_0} \right) \text{ dB} \quad \parallel : 10 \text{ dB}$$

$$\frac{L_1}{10 \text{ dB}} = \lg \left(\frac{I_1}{I_0} \right) \quad \parallel 10^{(\)}$$

$$10^{\lg \left(\frac{I_1}{I_0} \right)} = 10^{\frac{L_1}{10 \text{ dB}}}$$

$$\frac{I_1}{I_0} = 10^{\frac{L_1}{10 \text{ dB}}} \quad \parallel \cdot I_0$$

$$I_1 = I_0 \cdot 10^{\frac{L_1}{10 \text{ dB}}}$$

$$= 1,0 \cdot 10^{-12} \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \cdot 10^{\frac{94 \text{ dB}}{10 \text{ dB}}} = 1,0 \cdot 10^{-12} \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \cdot 10^{9,4} = 1,0 \cdot 10^{-2,6} \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

$$= 2,511886 \cdot 10^{-3} \frac{\text{W}}{\text{m}^2}.$$

Lasketaan koneen tuottaman äänen intensiteetti 80 dB tapauksessa

$$L_2 = 10 \lg\left(\frac{I_2}{I_0}\right) \text{ dB} \quad \parallel : 10 \text{ dB}$$

$$\frac{L_2}{10 \text{ dB}} = \lg\left(\frac{I_2}{I_0}\right) \quad \parallel 10^{(\quad)}$$

$$10^{\lg\left(\frac{I_2}{I_0}\right)} = 10^{\frac{L_2}{10 \text{ dB}}}$$

$$\frac{I_2}{I_0} = 10^{\frac{L_2}{10 \text{ dB}}} \quad \parallel \cdot I_0$$

$$I_2 = I_0 \cdot 10^{\frac{L_2}{10 \text{ dB}}}$$

$$= 1,0 \cdot 10^{-12} \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \cdot 10^{\frac{80 \text{ dB}}{10 \text{ dB}}} = 1,0 \cdot 10^{-12} \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \cdot 10^{8,0} = 1,0 \cdot 10^{-4,0} \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

Intensiteetti on kääntäen verrannollinen etäisyyden neliöön. Tästä saadaan verranto

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{r_2^2}{r_1^2}$$

Etäisyys, jolla työskentely on vielä turvallista ilman kuulosuojaimia, on

$$r_2 = \sqrt{\frac{I_1}{I_2}} \cdot r_1 = \sqrt{\frac{2,511\,886 \cdot 10^{-3} \frac{\text{W}}{\text{m}^2}}{1,0 \cdot 10^{-4} \frac{\text{W}}{\text{m}^2}}} \cdot (1,2 \text{ m}) = 6,014\,2463 \text{ m} \approx 6,0 \text{ m}.$$

Tehtävä 10.19.

- a) Syöpähoidoissa käytettävän ultraäänen intensiteetti on $10 \text{ W/cm}^2 - 100 \text{ W/cm}^2$.
- b) Syöpäsolujen tuhoutuminen ultraäänen vaikutuksesta perustuu ensisijaisesti ultraäänen mekaanisen energian absorboitumiseen kudokseen. Tämä nostaa kudoksen lämpötilaa. Kun lämpötila nousee vähintään $57 \text{ }^\circ\text{C}$:een, syöpäsolut kuolevat.
- c) Intensiteetti kuvaa, kuinka paljon energiaa siirtyy pinta-
alan läpi sekunnissa.

$$I = \frac{P}{A} = \frac{4,0 \text{ W}}{0,5 \text{ cm} \cdot 0,5 \text{ cm}} = 16 \text{ W/cm}^2$$

d) Äänen intensiteetti pienenee kääntäen verrannollisesti etäisyyden neliöön eli $I \sim \frac{1}{r^2}$. Verrataan ultraäänen intensiteettejä etäisyyksillä 1,0 cm ja 3,0 cm.

$$\frac{I_2}{I_1} = \frac{r_1^2}{r_2^2} = \frac{(1,0 \text{ cm})^2}{(3,0 \text{ cm})^2} = \frac{1}{9} = 0,11$$

Ultraäänen intensiteetti pienenee 89 %, kun ultraääni etenee 1,0 cm:n etäisyydeltä 3,0 cm:n etäisyydelle.

Tämä ei tarkoita sitä, että energia olisi pienentynyt yhtä paljon. Intensiteettilain mukaan äänen energia jakautuu suuremmalle pinta-alalle, mutta äänen energia säilyy.

Ultraäänisignaalin energia pienenee, kun ääni absorboituu väliaineeseen ja muuntuu väliaineen sisäenergiaksi.

Tehtävä 10.20.

etäisyys alussa $r_1 = 1,2 \text{ m}$

äänen intensiteettitaso alussa $L_1 = 62,4 \text{ dB}$

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

a) Äänen intensiteetti etäisyydellä 1,2 m saadaan intensiteettitasosta

$$L_1 = 10 \lg \left(\frac{I_1}{I_0} \right) \text{ dB} \quad (1 \text{ p}) \quad \parallel : 10 \text{ dB}$$

$$\frac{L_1}{10 \text{ dB}} = \lg \left(\frac{I_1}{I_0} \right) \quad \parallel 10^{(\)}$$

$$10^{\lg \left(\frac{I_1}{I_0} \right)} = 10^{\frac{L_1}{10 \text{ dB}}}$$

$$\frac{I_1}{I_0} = 10^{\frac{L_1}{10 \text{ dB}}} \quad \parallel \cdot I_0$$

$$I_1 = I_0 \cdot 10^{\frac{L_1}{10 \text{ dB}}}$$

$$= 10^{-12} \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \cdot 10^{\frac{62,4 \text{ dB}}{10 \text{ dB}}} = 10^{-12} \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \cdot 10^{6,24} = 1,0 \cdot 10^{-5,76} \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

$$= 1,7378 \cdot 10^{-6} \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \approx 1,74 \cdot 10^{-6} \frac{\text{W}}{\text{m}^2}.$$

(yhtälöt 2 p, tulos 2 p, voi ratkaista solverilla)

b) etäisyys uudessa tilanteessa $r_2 = 1,8$ m

Äänen intensiteetti on kääntäen verrannollinen etäisyyden neliöön (1 p)

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{r_2^2}{r_1^2}. \quad (1 \text{ p})$$

Yhden auton intensiteetti 1,8 m etäisyydellä a-kohdan mukaan

$$I_2 = \frac{I_1 r_1^2}{r_2^2} = \frac{1,7378 \cdot 10^{-6} \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \cdot (1,2 \text{ m})^2}{(1,8 \text{ m})^2} = 7,723 559 \cdot 10^{-7} \frac{\text{W}}{\text{m}^2}. \quad (2 \text{ p})$$

Neljän auton intensiteetti 1,8 m etäisyydellä mittaaajasta $I_3 = 4I_2$. (1 p)

Neljän auton intensiteettitaso 1,8 m etäisyydellä mittaaajasta

$$L_3 = 10 \lg \left(\frac{I_3}{I_0} \right) \text{ dB} = 10 \lg \left(\frac{4I_2}{I_0} \right) \text{ dB} \quad (1 \text{ p})$$

$$L_3 = 10 \lg \left(\frac{4 \cdot 7,723 559 \cdot 10^{-7} \frac{\text{W}}{\text{m}^2}}{1,0 \cdot 10^{-12} \frac{\text{W}}{\text{m}^2}} \right) \text{ dB} = 58,878 \text{ dB} \approx 59 \text{ dB}.$$

(2 p)

c) Kun auton moottorin kierrostaajuutta kasvatetaan, auton lähettämän äänen taajuus suurenee. Korkeat äänet voimistuvat. Kun polttomoottorissa tapahtuu lisäksi enemmän palamisprosesseja sekunnissa, auton lähettämän äänen intensiteetti kasvaa.

(äänen taajuus kasvaa 1 p, äänen intensiteetti kasvaa 1 p ja perustelu ainakin toiseen 1 p)