

Ääni

Perushahmotus

Ääni on ilmiö. Äänen tarkastelun pitää siis lähteä havainnoista, ei malleista.

Äänen lähteet ja vastaanottaminen, väliaineen merkitys. Ääni ilmassa.

Yhteistä lähes kaikille äänen lähteille on, että niissä jokin värähtelee. Värähtely näkyy tai tuntuu: soiva kieli, äänirauta, ihmisääni, urkupilli / nokkahuilu.

Kuuleminen on äänen vastaanottamista, samoin tilanteet joissa ääni saa kappaleen värähtelemään.

Ääni tarvitsee väliaineen (ilma, vesi, kiinteät aineet). Soittokello tyhjiökuvussa.

Mikrofonin esittely. Osoitetaan, että mikrofoni reagoi ilmanpaineen vaihteluihin. Ilmeisesti äänikin aiheuttaa paineen vaihtelua => ilmassa etenevä ääni on paineaalto. Osoitetaan aiheuttamalla paineen vaihtelua suoraan ilmaan esim. reikäsireenillä.

Äänen ominaisuudet

Korkeus, voimakkuus, sointiväri

Termit selviksi: korkeuden ja voimakkuuden erottaminen. Äänilähteiden tunnistaminen perustuu sointiväriin.

Äänen käyttäytyminen

Eteneminen

Mahdollisesti lisää kokeita eri väliaineilla; etenemisellä on ääretöntä pienempi nopeus.

Heikkeneminen

Etäisyyden vaikutus äänen voimakkuuteen.

Heijastuminen

Kaiku, äänen kokoaminen koveralla heijastimella.

Taittuminen

Painepuhdistimen kaasulla (tetrafluorietaani) täytetty ilmapallo toimii äänelle kokoavana linssinä.

Huojunta

Kaksi äänilähdettä joiden taajuudet ovat lähellä toisiaan, esim. kaksi äänirautaa joista toisessa on lisäpaino.

Dopplerin ilmiö

Varren päässä pyöritettävä äänilähde tai narujen varassa kulkeva "[Doppler-raketti](#)".



Seisova ääniaalto

Syntyy kun heijastunut aaltoliike interferoi. Kaiutin seinän vieressä tai pöydän yläpuolella. Amplitudihuiput havaitaan mikrofoniin avulla.

Kvantifiointi ja kvantitatiivinen esitys

Koevälineiksi tarvitaan [mikrofoni](#), oskilloskooppi ja/tai tietokonemittausjärjestelmä, signaaligeneraattori ja kaiutin. Näiden toimintaperiaatteet pitää selvittää sellaisella tasolla, että ymmärretään laitteiden toiminta tulevissa kokeissa:

- mikrofoni tuottaa äänen paineeseen verrannollisen jännitteen
- oskilloskooppi näyttää jännitteen kuvaajan ajan funktiona, joka on samanmuotoinen kuin äänen paine ajan funktiona
- tietokonemittausjärjestelmä tekee saman kuin oskilloskooppi
- signaaligeneraattori tuottaa vaihtosähköä halutulla taajuudella
- kaiutin tuottaa vaihtosähköstä äänen, jolla on sama aaltomuoto

Taajuus, aaltomuoto, spektri

Nämä voi tehdä samalla mittausjärjestelyllä.. Tutkitaan ensin äänilähteitä joilla on yksinkertainen aaltomuoto (äänirauta, vihellys...). Määritellään taajuus värähdysten lukumääräksi aikayksikössä. Todetaan kvalitatiivisesti havaitun äänen korkeuden yhteys taajuuteen. Todetaan, että tietokone osaa selvittää äänen taajuuden Fourier-analyysin avulla. Seuraavaksi tutkitaan ääniä joilla on monimutkaisempi aaltomuoto (ihmisääni, soittimet...). Fourier-analyysi paljastaa, että näissä äänissä on useita taajuuksia.

Sävelasteikko

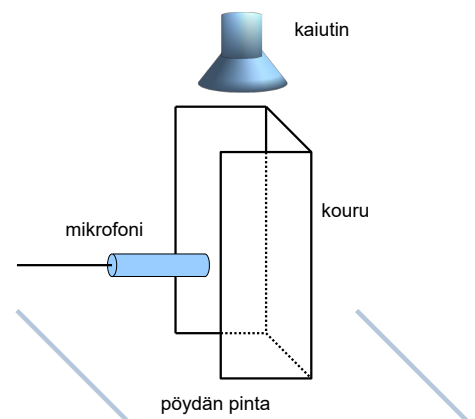
Sävelasteikon kvantifioinnilla tarkoitetaan kokemusperäisen (musiikin) sävelasteikon vertaamista äänen taajuuteen. Jonkin soittimen avulla todetaan mm:

- Sävelen nosto oktaavilla tarkoittaa taajuuden kaksikertaistamista (esim. $a_1 = 440 \text{ Hz}$, $a_2 = 880 \text{ Hz}$)
- Kaikki muutkin intervallit vastaavat tiettyä taajuuksien suhdetta. Kvintti (esim. C – G) vastaa aina suhdetta 2:3.
- Tasasointisilta kuullostavat intervallit vastaavat taajuuksien suhteita, jotka supistuvat pienten kokonaislukujen suhteiksi (oktaavi 1:2, kvintti 2:3, kvartti 3:4, suuri terssi 4:5).

Aallonpituus

Kaiuttimen ja pöydän pinnan väliin muodostuvasta seisovasta aallosta voidaan mikrofoniin avulla määrittää paineminimien (tai minimien ja maksimien) kohdat, ja näin mitata aallonpituus. Todetaan myös, että $\lambda f = \lambda/T$ (T on jaksonaika) on taajuudesta riippumaton vakio, joten äänen etenemisnopeus ei riipu taajuudesta.

Kokeessa kannattaa käyttää pahvista tms. muotoiltua kourua, joka vähentää ääniaaltojen leviämistä. Näin saadaan näkyviin useampia ja selkeämpiä maksimeja ja minimejä. Täytyy myös käyttää tarpeeksi korkeita taajuuksia, että useita minimeja ja maksimeja

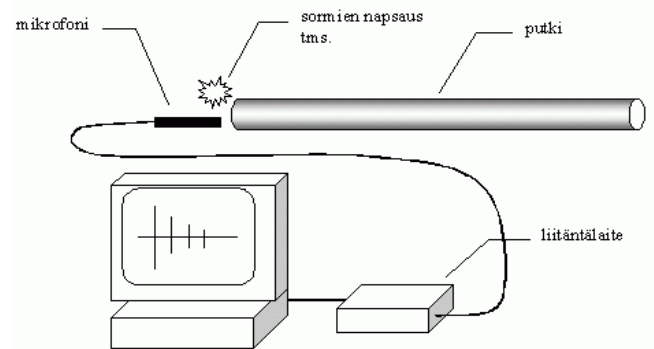


mahtuu kourun pituudelle. Taajuusalue 2 – 8 kHz on sopiva.

Etenemisnopeus

Äänen nopeus on syytä mitata myös suoraan. Voidaan esimerkiksi rekisteröidä putkessa edestakaisin heijastelevaa ääntä viereisen kuvan mukaisella laitteistolla.

Jos käytetään toisesta päästä suljettua pystysuoraa putkea, koe voidaan tehdä myös tetrafluorietaanilla. Ilmaa tiheämpänä se pysyy putkessa. Havaitaan että äänen nopeus tetrafluorietaanissa on pienempi kuin ilmassa.



Intensiteetti, voimakkuus

Äänen intensiteetin (teho pinta-alayksikköä kohti, I) suoraan mittaamiseen ei ole tiettävästi saatavissa välineitä. Voidaan kuitenkin perustellusti olettaa, että äänilähteen lähettämä ääniteho on verrannollinen kaiuttimeen syötettyyn (sähkö)tehoon.

Tehdään esikvantifioiva havainto, että tehon kasvattaminen vakiokertomella (esim. kaksikertaiseksi) aistitaan aina yhtä suurena äänenvoimakkuuden lisäyksenä. Tämä on perustelu sille, miksi äänen voimakkuuden asteikko, desibeliasteikko, on intensiteetin suhteen logaritminen.

Desibelin täsmällinen kvantifointi olisi turhan työlästä, joten poikkeuksellisesti täytyy ottaa määritelmä valmiina. Voimakkuus $L = 10 \log \left(\frac{I}{I_0} \right)$ jossa I on äänen intensiteetti ja $I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$. Tästä seuraa, että äänen voimakkuuksien erotus $L_2 - L_1 = 10 \log \left(\frac{I_2}{I_1} \right)$. Laki voidaan testata kokeellisesti, olettaen jälleen että äänen intensiteettien suhde on yhtä suuri kuin kaiuttimen syöttötehojen suhde. Karkeasti intensiteetin kaksinkertaistaminen aiheuttaa 3 dB ja kymmenkertaistaminen 10 dB:n lisäyksen äänen voimakkuuteen.

Tarkasteltuja ilmiöitä (käyttäytyminen) esittävät lait

Heikkenemislaki

Tutkitaan pistemäisen äänilähteen äänen intensiteetin heikkenemistä etäisyyden funktiona. Kokeessa täytyy jotenkin eliminoida heijastuneiden äänien vaikutus. Mittaus pitää tehdä mahdollisimman suuressa tilassa tai ulkona niin, että äänilähde on kaukana heijastavista pinnoista. Mittaus dB-mittarilla, desibelit muutetaan intensiteeteiksi, $I = I_0 \cdot 10^{L/10}$. Osoitetaan että $I \propto r^{-2}$. Koe toimii sangen kapealla etäisyysalueella, läheltä mitattuna mikään äänilähde ei ole pistemäinen ja kaukaa mitattuna heijastukset ja taustamelu häiritsevät.

Huojuntataajuus

Kahdella ääniraudalla tai kahdella signaaligeneraattorilla. Mittaus mikrofoniin ja tietokoneella. Todetaan laki $f_h = |f_1 - f_2|$.

Doppler-ilmiön kvantitatiivinen tutkiminen

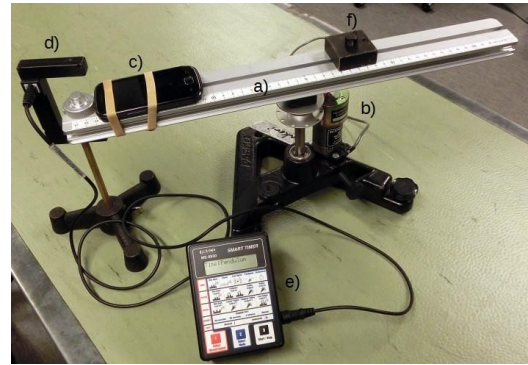
Doppler-ilmiötä voidaan tutkia kvantitatiivisesti käyttäen varren päässä pyörivää kännykkää tai pietsosummeria. Kännykässä pitää olla äänigeneraattoriohjelma, esimerkiksi Androidille [PA Tone](#).

Varren pyörimisnopeutta voidaan muuttaa, ja kännykässä myös äänen taajuutta, joten laitteella voidaan tutkia äänilähteen nopeuden ja äänen taajuuden vaikutusta Doppler-siirtymään. Lähteen nopeus määritetään mittaamalla varren kierrostaajuus valoportilla. Äänen analyysi tehdään mikrofonilla ja tietokonemittausjärjestelmän FFT-toiminnoilla.

Summeria käytettäessä voidaan tutkia vain Doppler-siirtymän nopeusriippuvuutta. Haittapuolena on myös se että summerin ääni on erittäin kova ja epämiellyttävä.

Kun varsi pyörii, havaitaan että äänen taajuuspiikki "leviää", koska mikrofoniiin saapuu vuoroin etääntyvän, vuoroin kohti tulevan lähteen ääni. (Laitte kannattaa sijoittaa huoneen nurkkaan, jolloin ääni heijastuu seinistä, ja mikrofoniiin tulee miltei koko ajan maksimimäärän ylös- ja alaspäin siirtynyttä ääntä.)

Määritetään taajuuden siirtymä Δf piikin leveydestä, ja piirretään kuvaaja $(u, \Delta f)$ (u on tässä lähteen nopeus). Havaitaan laki $\Delta f \propto u$. Ajatuskokeella (mitä tapahtuu jos äänilähde lähestyy äänen nopeudella) perustellaan että löydetty laki on voimassa vain pienillä nopeuksilla.



a) pyörivä varsi, b) moottori, c) äänilähde (kännykkä tai summeri), d) valoportti, e) ajastin, f) vastapaino

