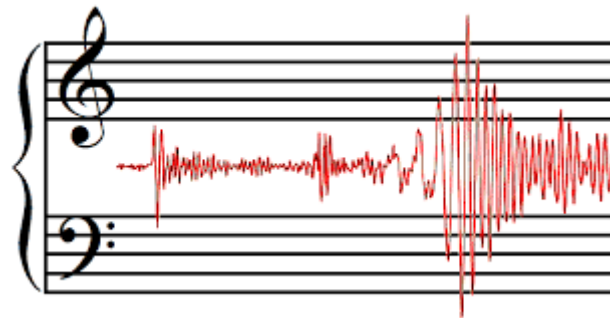


# Fysiikan demonstraatioita musiikin opiskelijoille



Siiri Anttonen

# Alkusanat

Tämä materiaali sisältää fysiikkaan liittyviä demonstraatioita, jotka on suunniteltu erityisesti musiikin opiskelijoille. Demonstraatiot käsittelevät äänen etenemistä, kuulon mekanismeja ja soittimien toimintaperiaatteita. Kokoelma toimii samalla viitteenä siitä, mitä fysiikan aiheita voisi olla hyödyllistä opettaa musiikin harrastajille ja muusikoille. Olen esittänyt näitä demonstraatioita musiikin teorian tunneilla Turun konservatoriolla, Turun Taideakatemiassa sekä useissa varsinaissuomalaisissa musiikkiopistoissa ja kansanopistoissa.

Kunkin demonstraation kohdalla esittelen tarvittavat välineet ja yksityiskohtaisen etenemissuunnitelman. Demonstraatioiden tavoitteena on opettaa ja havainnollistaa opiskelijoille uutta tietoa, mutta myös tarjota virkistäviä ja ikimuistoisia lisäyksiä oppitunneille. Demonstraatiot ovat samankaltaisia kuin fysiikan tunnilla, mutta näissä lähtökohtana on, että opiskelijat osaavat myös soittaa ja lukea nuotteja.

Tässä lehtisessä esitän demonstraatioiden vaiheita kahdessa eri järjestyksessä:

1. Pohjustetaan asia – keskustellaan – esitellään teoriaa – havainnollistavia kokeita – hypoteesin tekeminen ja testaaminen – loppupohdinta.
2. Pohjustetaan asia – keskustellaan – hypoteesin tekeminen ja testataaminen – esitellään teoriaa - lisää havainnollistavia kokeita – loppupohdinta.

Tarkoitukseni on näyttää, että näiden demonstraatioiden ympärille voidaan rakentaa monenlaisia oppitunteja. Jokaisen demonstraation voi toteuttaa parhaaksi näkemällään tavalla, ja olen kokenut molemmat tavat toimiviksi. Olen pyrkinyt siihen, että jokaisen demonstraation ehtii tehdä alusta loppuun 60 minuutin oppitunnin aikana. Valmisteluvaiheet nopeutuvat, kun saman demonstraation tekee monta kertaa. Demonstraatioita voi myös:

- Pilkkoa pienemmiksi osiksi, jolloin tunnille voi lisätä esimerkiksi musisointia alkuun tai loppuun, ja jatkaa seuraavalla tunnilla. Näin voi tehdä oman pienemmän demonstraation jostakin aihepiirin osa-aiheesta.
- Pitkällä tunnilla yhdistää toisiinsa, esimerkiksi sävelten korkeuksiin liittyviä demonstraatioita on helppo nivoa kokonaisuudeksi, sillä niiden teoriaosuuksissa on paljon samaa.

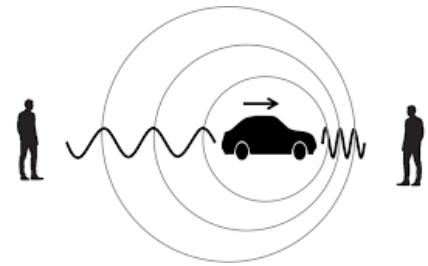
Jotta tämä lehtinen ei venyisi liian pitkäksi, olen liittänyt kunkin demonstraation loppuun ehdotuksen hyväksi kokemastani sivustosta, josta opettaja ja kiinnostunut opiskelija voivat opiskella ilmiön teoriaosuutta, kuten aiheeseen liittyviä kaavoja ja taustoja, tarkemmin.

Turussa 2024  
Siiri Anttonen  
Musiikin perusteiden ja yhteissoiton opettaja

## Sisällysluettelo

Alkusanat.....	2
1. Doppler-ilmiö – liikkuva äänilähde.....	4
2. Yläsävelsarja – huiluäänet kielisoittimissa.....	6
3. Suljettu ja avoin putki – boomwhackerit tarkasteluun.....	8
4. Ihmisen kuuloalue – kontrabasson viritys kuulumattomiin.....	10
5. Desibelit – nokkahuilut soimaan.....	12
6. Resonanssi – ääniraudat ja soittimet värähtelemään.....	14
7. Yläsävelsarja ja resonanssi - pianolla havainnollistaminen.....	16
8. Viritysjärjestelmät – intervallit puhtaiksi.....	18
Loppusanat.....	20

# 1. Doppler-ilmiö – liikkuva äänilähde



Tässä demonstraatiossa tutustutaan ääniaaltojen etenemiseen ja siihen, miten ne äänilähteen etääntyessä tai lähestyessä kuulijaa ikäänkuin tiivistyvät tai harvenevat, vaikuttaen havaittavaan äänenkorkeuteen. Arkinen esimerkki Doppler-ilmiöstä on ohi ajava ambulanssi, jonka hälytysääni vaikuttaa madaltuvan merkittävästi ajoneuvon ohittaessa havainnoijan. Suositeltavaa on, että ennen demonstraatiota on tutustuttu ääneen aaltoliikkeenä ja äänenkorkeuteen hertseinä, mutta näitä voidaan käsitellä vasta tämän demonstraation yhteydessä tai jättää ilmiön kvantitatiivinen tarkastelu myöhemmäksi.

## Tavoitteet:

1. Ymmärtää Doppler-ilmiön peruseriaatteet.
2. Havainnollistaa ilmiötä oppilaille konkreettisesti.
3. Osallistaa oppilaita sekä rohkaista hypoteesin tekemiseen ja testaamiseen.
4. Innostaa oppilaita oppimaan lisää fysiikan ilmiöistä käytännön kautta.

## Tarvittavat välineet:

- Äänilähde, joka tuottaa jatkuvaa ääntä (esim. puhelin, jossa on sovellus, joka tuottaa siniaaltoa, tai leluauto, jossa on sireeni)
- Pieni, mielellään langaton, kaiutin
- Muutamia pieniä esineitä paikkojen merkitsemiseen
- Mittanauha tai -keppi, sekuntikello, laskin/laskinsovellus (jos tehdään laskuja)
- Muistiinpanovälineet, taulu ja tussit hypoteesien ja tulosten kirjaamista varten.

## Suunnitelma:

### 1. Pohjustus (5 minuuttia):

- Aiheen esittely, esimerkiksi: "Tänään opimme Doppler-ilmiöstä, joka on ilmiö, jossa äänen taajuus muuttuu, kun äänilähde tai kuulija liikkuu."
- Kysely ja keskustelun avaus, esimerkiksi: "Oletteko huomanneet, että ambulanssin sireeni kuulostaa erilaiselta, kun auto lähestyy ja kun se loittonee? Miksi niin käy?"

### 2. Teoriaosuus (10 min):

- Selitetään Doppler-ilmiön peruseriaate: Kun äänilähde liikkuu kohti kuulijaa, äänen taajuus kasvaa (ääni korkeampi) ja kun se loittonee, taajuus pienenee (ääni matalampi).
- Havainnollistetaan taajuuden muutos kaavalla ja kuvilla (sivun kuvan kaltainen). Käsitellään lyhyesti, että ääni on aaltoliikettä, jos asia ei ole entuudestaan tuttu. Asiaa voidaan lähestyä vain laadullisesti, tai sitten esitellä linkin kautta löytyviä kaavoja.

### 3. Demonstraation valmistelu (5 min):

- Valitaan vapaaehtoinen, joka toimii äänilähteenä, esim. henkilö, joka kävelee äänilähteen kanssa. Kauko-ohjattava pikkuauto, josta lähtee ääntä tai johon voi

kiinnittää kaijuttimen tai puhelimen, on ideaali, sillä sen avulla voidaan saavuttaa kokeen kannalta ihanteellisia nopeuksia. Myös pyöräily on ulkona mahdollista.

- Määritellään koealue luokkahuoneessa, esim. 10 metrin suora matka. Jos on mahdollista mennä suureen saliin tai ulos, on tämä aina parempi, sillä liikkuesssa tavallisessa luokassa tulee nopeasti seinät vastaan.
- Asetetaan merkit, jotka osoittavat äänilähteen lähtö- ja maalipisteet.

#### 4. Doppler-ilmiön havainnollistaminen (15 min):

- **Ensimmäinen koe:**

- Äänilähde (esim. puhelin, joka soittaa jatkuvaa ääntä) pidetään paikallaan ja yksi opiskelija liikkuu sitä kohti ja sitten pois päin siitä. Kysytään muilta oppilailta, kuulevatko he muutoksia äänen korkeudessa (eivät). Kysytään myös äänilähteen ohittaneen oppilaan havainnoista. Tässä on hyvä huomata, että käytännössä on vähintäänkin pikakäveltävä, jotta huomaisi äänen taajuuden muuttuvan (lähentyessä korkeampi kuin paikallaan seistessä, ja ohituksen jälkeen matalampi).

- **Toinen koe:**

- Äänilähde liikkuu oppilaiden ohi tasaisella nopeudella. Oppilaat jaetaan kahteen ryhmään, toinen ryhmä on paikallaan ja toinen liikkuu äänilähteen suuntaan. Kummatkin ryhmät kertovat havainnoistaan.

#### 5. Hypoteesin tekeminen ja testaaminen (10 min):

- Pyydetään oppilaita tekemään hypoteesi siitä, mitä tapahtuu, jos äänilähteen nopeus muuttuu. Kirjataan hypoteesit ylös.
- Toistetaan koe eri nopeuksilla (esim. hitaasti kävellen, juosten ja pyöräillen tai kauko-ohjattavaa autoa eri nopeuksilla ajaen) ja vertaillaan tuloksia oppilaiden hypoteeseihin.
- Keskustellaan havainnoista ja verrataan niitä ennako-oletuksiin.

#### 6. Yhteenveto ja pohdinta (10 min):

- Keskustellaan siitä, mitä opittiin Doppler-ilmiöstä.
- Pohditaan, missä muualla Doppler-ilmiötä voi havaita (esim. liikenne, tähtitiede).
- Kysytään oppilailta heidän kokemuksistaan ja ajatuksistaan.

#### **Ideoita:**

Demonstraation lopuksi oppilaiden pitäisi ymmärtää, miten Doppler-ilmiö toimii ja miten se vaikuttaa äänen taajuuteen riippuen liikkeen suunnasta ja nopeudesta. Demonstaatio voidaan tehdä täysin laskematta mitään, tai sitten voidaan selvittää oppilaan tai äänilähteen etenemisen nopeus ( $v=s/t$ ) ja laskea linkin takaa löytyvillä kaavoilla, paljonko sävelkorkeus muuttuu. Toisinkin päin voidaan toimia, jos oppilailla on tarkka sävelkorva ja äänenlähteen taajuus tiedossa: kuunnellaan, paljonko taajuus muuttuu ja arvioidaan sen perusteella liikkeen nopeus. Nopea tapa ilmentää Doppler-ilmiötä on liikutella tasaista säveltä tuottavaa puhelinta nopeasti pois päin itsestä ja takaisin kädenulottuman verran.

**Lisää aiheesta:** <https://web.uniarts.fi/akustiikka/> (→ Äänen ominaisuuksista → Doppler-ilmiö)

## 2. Yläsävelsarja – huiluäänet kielisoittimissa

Tässä demonstraatioissa tutustutaan osavärähtelyyn ja sen synnyttämään yläsävelsarjaan eli luonnonsävelsarjaan, joka soi perussävelen lisäksi kussakin luonnollisessa ympäristössä esiintyvässä äänessä. Muusikolle arkinen seuraus yläsävelsarjasta on erilaisten soitinten äänensävyt sekä huiluäänet eli flagoletit kaikissa kielisoittimissa. Ilmiölle on myös vastine puhallinsoittimissa, etenkin vaskipuhaltimissa ja luonnontorvissa.



### Tavoitteet:

1. Oppia, miten kielten värähdellessä syntyy osittaisvärähtelyä, joka määrittää pohjasävelle yläsävelsarjan.
2. Hahmottaa, että yläsävelsarja ilmenee äänenväriä.
3. Oppia, mitkä sävelet yläsävelsarjassa ovat ja miten ne voi poimia kielisoittimesta ns. huiluääninä eli flagoletteina.
4. Rohkaista hypoteesin tekemiseen ja testaamiseen, oppimaan ilmiöistä käytännön kautta.

### Tarvittavat välineet:

- Erilaisia kielisoittimia, ja jousisoittimien tapauksessa jousikin, sillä sen avulla saa luotua pitkäkestoista ja laajaa kielen värähtelyä. Mitä matalampiääninen soitin, sitä paremmin kielet värähtelyt näkee silmin.
- Mittanauha kielten mittausta varten. Nelilaskin tai laskinsovellus.
- Muistiinpanovälineet, taulu ja tussit hypoteesien ja tulosten kirjaamista varten.

### Suunnitelma:

#### 1. Pohjustus (5 min):

- Aiheen esittely, esimerkiksi: "Tänään opimme yläsävelsarjasta, sen syntymekanismista, vaikutuksesta äänensävyyn ja sen hyödyntämisestä jousisoittimilla."
- Kysely ja keskustelun avaus, esimerkiksi: "Miten on mahdollista tunnistaa eri soittimien ääni, vaikka ne soittaisivat samaa säveltä yhtä voimakkaasti? Mikä silloin on toisin?", "Onko teidän soittokappaleissa ollut huiluääniä (ryhmän jousisoittajat)?"

#### 2. Demonstaation valmistelu (5 min)

- Otetaan esille jokin kielisoitin (mielellään kontrabasso tai sello jousineen), viritetään se ja annetaan oppilaiden tarkastella ja mahdollisesti kokeilla soitinta.
- Pyydetään oppilaita ottamaan esille omat soittimet, jos heillä on sellaisia mukana.

### 3. Hypoteesien tekeminen ja testaaminen (10 min):

- Pyydetään oppilaita esittämään ensimmäinen hypoteesi aiheesta: ”Voiko kielen liikkeen nähdä silmin läheltä katsottuna, kun jotakin vapaata kieltä alkaa soittaa?” Havainnoidaan asiaa, mielellään oppilaan soittamana, ja keskustellaan havainnoista.
- Tehdään toinen hypoteesi aiheesta: ”Värähtelevätkö soittimen kaikki kielet yhtä nopeasti?” Havainnoidaan asiaa, ja arvellaan samalla, kuinka nopeasti esimerkiksi a-kieli (löytyy kaikista kielisoittimista) värähtelee. Kaikki tulokset kirjataan.
- Kolmas hypoteesi soittimen äärellä: ”Mistä kohtaa kielen värähtely on laajinta”. Havainnoidaan ja keskustellaan. Kielen keskivaiheeseen osuu perusvärähtelyn osalta laajin värähtelyliike, mutta myös ensimmäisen yläsäveln värähtelyn solmukohta on siinä, joten puolivälin vieressä on laajempi kielen liike kuin tarkalleen puolivälissä.

### 4. Teoriaosuus (10 min)

- Esitellään käsitteet taajuus ja hertsi (Hz) ja mitä ne merkitsevät. Kerrotaan myös, että säveln hertsimäärä tuplaantuu, kun säveltaso nousee oktaavin – taajuus kasvaa siis eksponentiaalisesti, mutta korva toimii ikäänkuin logaritmisesti kumoten tämän vaikutuksen. Käsitellään myös aallonpituus ja aaltoliikkeen perusyhtälö  $v = \lambda * f$ .
- Piirretään taululle kaavio kielen osittaisvärähtelystä, ja kerrotaan näiden osittaisvärähtelyjen tuottavan yläsäveliä, joiden keskinäiset painotukset luovat kullekin soittimelle ominaisen äänenväriin. Voidaan myös näyttää, kuinka yläsävelten taajuudet voidaan laskea, kun osittaisvärähtelyjen aallonpituudet saadaan kaaviosta.

### 5. Havainnollistavia kokeita (15 min)

- Mitataan jousisoittimen (esim. basso) kielen pituus, ja lasketaan, mihin kohtiin osaaääneksiä vastaavien värähtelyjen solmukohdat osuvat (laskettuna tallasta). Tarkistetaan soittamalla, että näistä kohdista tosiaan löytyvät huiluäänet. Pohditaan, mitä säveliä ne ovat pohjasäveleen nähden. Pohditaan, miksi välillä huiluääni osuu samaan säveleen kuin painettu sävel vastaavassa kohdassa.
- Testataan, miten samat huiluäänet löytyvät paitsi tallasta myös satulasta laskien. Ne on kuitenkin helpompi saada soimaan tallasta laskien jousen sijainnin ansioista.
- Jos paikalla on vaskipuhaltajia, voivat he demonstoida soittimella tai suukappaleella, miten saavat puhallusta muuttamalla yläsävelsarjan säveliä luotua.

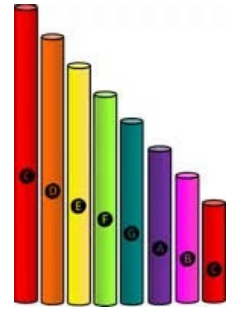
### 6. Yhteenveto ja pohdinta (5 min)

- Keskustellaan siitä, mitä opittiin yläsävelsarjasta ja jousisoittimien huiluäänistä.
- Pohditaan, mitä muita merkityksiä yläsävelsarjalla on (mm. sävelten yhteissointi, luonnontorvien kautta myös varhaiset sävellykset).
- Kysytään oppilailta heidän kokemuksistaan ja ajatuksistaan.

Lisää aiheesta: <https://web.uniarts.fi/akustiikka/> (→ Äänen ominaisuuksista → Harmoninen spektri)

### 3. Suljettu ja avoin putki – boomwhackerit tarkasteluun

Tässä demonstraatioissa tutustutaan seisovaan aaltoliikkeeseen ja siihen, miten soivan putken tai pillin pituus ja toisen päädyn avoimuus tai sulkeuminen vaikuttaa syntyvän äänen korkeuteen. Muusikoille urkupillit, ja nykyään myös yksinkertaiset lyötävät muoviputkisoittimet (Boomwhackerit), ovat käytännön sovellus seisovasta aaltoliikkeestä putkessa. Tämä sopii hyvin jatkoksi tai pohjustukseksi demonstraatiolle 2.



#### Tavoitteet:

1. Oppia, mitkä seikat vaikuttavat syntyvän äänen korkeuteen kielisoittimissa ja ilmapatsaaseen pohjautuvissa soittimissa.
2. Harjaantua havaintojen graafisessa esityksessä koordinaatistossa.
3. Hahmottaa perusasioita soitinten rakenteesta, jotka mahdollistavat matalien sävelten synnyttämisen (mm. puhellinsoittimien putket mutkalla, oktaavitulpat).
4. Rohkaista hypoteesin tekemiseen ja testaamiseen, oppimaan ilmiöistä käytännön kautta.

#### Tarvittavat välineet:

- Boomwhacker-putkisoittimia, mahdollisimman laaja setti oktaavitulpilla (mielellään kaksi oktaavia ja kromaattiset sävelet mukana, mutta muutamakin putki riittää).
- Millimetripaperia ja värikyniä pylväiden väritykseen
- Mittanauha boomwhackereiden mittaamiseen
- Tavanomaiset muistiinpanovälineet, taulu ja tusseja
- Vertailua varten myös muun tyyppisiä soittimia

#### Suunnitelma:

##### 1. Pohjustus (5 min)

- Aiheen esittely, esimerkiksi: "Tänään opimme, mitkä seikat vaikuttavat soittimen muodostaman äänen korkeuteen ja varsinkin seisovaan aaltoliikkeeseen putkessa."
- Kysely ja keskustelun avaus, esimerkiksi: "Mitkä seikat vaikuttavat siihen, kuinka matala ääni jostakin soittimesta lähtee?" (Kielen pituus, jännite ja massa(paksuus), putkissa vain putken pituus.)

##### 2. Demonstaation valmistelu (5 min)

- Otetaan esille Boomwhackerit ja annetaan oppilaiden soittaa niillä muutama sävel.
- Otetaan esille mittanauha, jaetaan millimetripaperit ja värikynät.



### 3. Hypoteesien tekeminen ja testaaminen (10 min):

- Pyydetään oppilaita esittämään ensimmäinen hypoteesi aiheesta: ”Jos boomwhackerit laittaa asteikkojonoon, onko viereisten putken pituusero vakio?” Havainnoidaan tätä silmämääräisesti ja mittaamalla sekä keskustellaan havainnoista.
- Tehdään toinen hypoteesi aiheesta: ”Mikä pituusero on oktaavin välisten sävelten välillä” Havainnoidaan asiaa, kirjataan ja keskustellaan.
- Kolmas hypoteesi boomwhackereista: ”Miten tulpan lisääminen putken päähän vaikuttaa sävelkorkeuteen”. Havainnoidaan, kirjataan ja keskustellaan.

### 4. Teoriaosuus (10 min)

- Esitellään käsitteet taajuus ja hertsi (Hz) ja mitä ne merkitsevät. Kerrotaan myös, että sävelen hertsimäärä tuplaantuu, kun säveltaso nousee oktaavin – taajuus kasvaa siis eksponentiaalisesti, mutta korva toimii ikäänkuin logaritmisesti kumoten tämän vaikutuksen. Käsitellään myös aallonpituus ja aaltoliikkeen perusyhtälö  $v = \lambda \cdot f$ .
- Piirretään taululle kaavio putkiin muodostuvista ilmapatsaista, kun kumpikin pääty on avoin ja kun toinen päistä suljetaan (oktaavitulppa).

### 5. Havainnollistavia kokeita (15 min)

- Lasketaan, minkä taajuisia pianon eri a-sävelet ovat. Piirretään millimetripaperille pylväinä taajuudet (esim. 1mm=10 Hz). Montaa ei mahdu, sillä taajuudet nousevat eksponentiaalisesti. Pohditaan, kuinka pitkä pylväs olisi pianon korkein a.
- Voidaan tarkastella boomwhackereiden muodostamaa jonoa tarkemmin, näkykö pituuden eksponentiaalinen kasvu niissä. Voidaan laskea, kuinka pitkiä putkien pitäisi olla, että ne vastaavat tiettyjä pianon säveliä.
- Käydään läpi, miten sama ilmiö toimii puhallinsoittimissa, joissa venttiileillä tai sormiaukoilla vaikutetaan kulloinkin soivaan putken pituuteen.

### 6. Yhteenveto ja pohdinta (5 min)

- Keskustellaan siitä, mitä opittiin seisovasta aaltoliikkeestä putkisoittimissa.
- Pohditaan, mitä muita merkityksiä seisovalla aaltoliikkeellä on (esim. kielisoittimet).
- Kysytään oppilailta heidän kokemuksistaan ja ajatuksistaan.

#### Ideita:

Tämän demonstraation jälkeen oppilas hahmottaa, mitä seisova aaltoliike ilmenee soittimissa, etenkin ilmapatsaaseen perustuvissa putkimaisissa soittimissa. Tähän työhön on helppo lisätä pohdintaa yläsävelsarjasta ja resonssista, mutta ne voidaan myös pitää omina demonstraatioinaan. Oppilaiden taustatiedot ja soitinvalikoima vaikuttavat aina siihen, kuinka syvälle mihinkin aiheeseen päästään syventymään.

**Lisää aiheesta:** Googlega hakemalla sanoilla ”seisova aaltoliike putki” löytyy monen fysiikan opettajan kotisivuilta hyvää materiaalia aiheesta suomeksi.

## 4. Ihmisen kuuloalue – kontrabasson viritys kuulumattomiin



Tässä demonstraatiossa tutustutaan värähtelyn yksikköön, hertsiin (Hz), ja eri äänten hertsilukemiin, ja siihen, miten korkealta minkäkin taajuinen ääni kuulostaa. Havainnoidaan kuuloalueen ääriajoja muun muassa viritämällä kontrabasson alin kieli kuulumattomiin. Tärkeää muusikoille on myös, että äänen korkeuden noustessa oktaavin, tuplaantuu hertsimäärä. Olisi hyvä käsitellä desibelit ennen tätä koetta.

### Tavoitteet:

1. Ymmärtää ihmisen kuuloalueen peruseriaatteet ja äänenvoimakkuuden vaikutus kuuloon.
2. Havainnollistaa, miten eri taajuudet ja äänenvoimakkuudet vaikuttavat kuuloon.
3. Osallistua käytännön kokeisiin ja havainnollistaa kuuloalueen rajoja ja äänenvoimakkuuden vaikutusta eri taajuuksilla.

### Tarvittavat välineet:

- Tietokone tai tabletti, jossa on äänen generointiohjelma
- Kontrabasso, jonka alin kieli voidaan viritää kuuloalueen alapuolelle ja muita soittimia
- Viritysmittari ja desibelimittari (saatavilla monissa älypuhelinsovelluksissa)
- Valkotaulu ja tussit, muistiinpanovälineet oppilaille

### Suunnitelma:

#### 1. Alkutoimet (5 min):

- Aiheen esittely, esimerkiksi: "Tänään opimme ihmisen kuuloalueesta, ja tarkastelemme, miltä eri korkeiset ja voimakkuiset äänet kuulostavat."
- Kysely ja keskustelun avaus, esimerkiksi: "Oletteko koskaan miettineet, miksi jotkut äänet kuulostavat korkeammilta tai matalammilta kuin toiset?"

#### 2. Teoriaosuus (10 min):

- Selitetään kuuloalue: Ihmisen kuuloalue on yleensä 20 Hz - 20 000 Hz (20 kHz).
- Selitetään äänenvoimakkuuden vaikutus kuuloon: Äänenvoimakkuutta mitataan desibeleissä (dB), ja pitkäaikainen altistuminen yli 85 dB äänelle voi vahingoittaa

#### 3. Demonstraation valmistelu (5 min):

- Jaetaan oppilaille soittimia ja/tai digitaalisia äänilähteitä, joiden taajuutta voi säätää.
- Varmistetaan, että kaikilla on toimivat välineet ja että he osaavat käyttää niitä.

#### 4. Kuuloalueen havainnollistaminen käytännössä (15 min):

- **Matala taajuus (20-100 Hz):**
  - Käytetään äänen generointiohjelmaa ja kaiuttimia/kuulokkeita, ja generoidaan 20 Hz ääni ja kuunnellaan.
  - Hiljalleen nostetaan taajuutta ja pyydetään oppilaita kertomaan, milloin he alkavat kuulla äänen.

- **Keskitaajuus (100-5000 Hz):**
  - Soitetaan eri soittimilla/ generointiohjelmalla ääniä, jotka kuuluvat tähän taajuusalueeseen, ja pyydetään oppilaita kuuntelemaan ääniä. Äänten korkeudet voidaan mitata viritysmittarilla.
- **Korkea taajuus (5000-20000 Hz):**
  - Generoidaan korkeataajuisia ääniä ja pyydetään oppilaita kuuntelemaan.
  - Hiljalleen nostetaan taajuutta ja pyydetään oppilaita kertomaan, milloin he eivät enää kuule ääntä. Huom: tavallisilla soittimilla ei voi tuottaa niin korkeita ääniä, etteikö niitä kuulisi.

#### 5. Teoriaosuus (10 min):

- Käytetään desibelimittaria mittaamaan äänenvoimakkuutta eri taajuuksilla.
- Tutkitaan, miten eri korkeuksilla vaaditaan eri desibelimäärä, jotta ääni "kuullaan":
  - \* Kuuloherkkyys on suurimmillaan noin 2 000 - 5 000 Hz taajuusalueella, jossa äänenvoimakkuuden tarvitaan vähemmän desibelejä, jotta ääni havaitaan.
  - \* Matalat ja korkeat äänet vaativat enemmän desibelejä ollakseen havaittavissa.
- Kerrataan, että sävelen noustessa oktaavilla hertsimäärä kaksikertaistuu.
- Lasketaan muutamien a-sävelten korkeudet, kun tiedetään, että  $a^1=440$  Hz.

#### 6. Hypoteesin tekeminen ja testaaminen (10 min):

- Pyydetään oppilaita tekemään hypoteesi siitä, voiko kontrabasson virittää niin matalalle, ettei sitä enää kuule. Kerrotaan, että alin kieli on kontra-E. Oppilaiden on mahdollista laskea, että vapaa A-kieli värähtelee taajuudella 440 Hz:  $2 : 2 : 2 = 55$  Hz ja päätellä, että viereinen E-kieli voidaan virittää sen verran matalalle, että se häviää kuuluvista, mutta soitettavuus jotenkin vielä säilyy.
- Testataan hypoteesi käytännössä ja vertaillaan oppilaiden havaintoja. Kiinnitetään erityistä huomiota siihen, että soitin ei muuta täysin äänettömäksi, vaikka itse pohjataajuus katoaa kuulumattomiin.
- Keskustellaan havainnoista ja vertaillaan niitä ennakko-oletuksiin.

#### 7. Yhteenveto ja pohdinta (5 min):

- Keskustellaan siitä, mitä opittiin ihmisen kuuloalueesta ja sen rajoista.
- Kerrataan peruskäsitteet äänen taajuudesta.
- Kysytään oppilailta heidän kokemuksistaan ja ajatuksistaan.

#### Ideoita:

Demonstraation lopuksi oppilaiden pitäisi ymmärtää, mitä ihmisen kuuloalue tarkoittaa ja miten eri taajuudet vaikuttavat kuuloon. He oppivat kuulemaan ja havaitsemaan eroja matalissa, keskitaajuisissa ja korkeissa äänissä sekä ymmärtävät, miten äänenvoimakkuus ja taajuus yhteisvaikuttavat siihen, miltä äänet kuulostavat. He hahmottavat, minkä taajuisia eri oktaavialoissa sijaitsevat sävelet suunnilleen ovat. Tähän demonstraatioon voi ottaa myös hauskan arvailuosuuden, jossa oppilas soittaa tiettyä säveltä, ja muut arvaavat, kuinka korkeasta sävelestä on kyse. Samoin voidaan arvuutella, kuinka voimakas ääni missäkin tilassa keskimäärin vallitsee, ja mitata.

Lisää aiheesta: <https://web.uniarts.fi/akustiikka/> (→ Peruskäsitteitä → Kuuloalue)

## 5. Desibelit – nokkahuilut soimaan

Tässä demonstraatiossa tutustutaan äänenvoimakkuuteen, desibeleihin sekä niiden logaritmisuuteen. Käytännön esimerkki koetusta äänenvoimakkuudesta on se, että vaikka äänilähteiden määrä vaikkapa viisinkertaistetaan, ei niistä syntyvän kokonaisäänen voimakkuutta kuitenkaan koeta viittä kertaa voimakkaammaksi kuin yksittäisen lähteen ääni.



### Tavoitteet:

1. Ymmärtää desibelien (dB) merkitys äänenvoimakkuuden mittaamisessa.
2. Oppia, miten desibeleitä mitataan ja miten äänenvoimakkuus skaalautuu.
3. Tutustua kuulokynnykseen ja äänialistuksen rajoihin ja ymmärtää kuulon suojelun tärkeys.
4. Havainnollistaa, miten äänenvoimakkuus muuttuu useiden äänilähteiden vaikutuksesta.

### Tarvittavat välineet:

- Nokkahuiluja (mielellän jokaiselle oma, muoviset ovat edullisia ja helppo puhdistaa)
- Desibelimittari
- Kaiutin ja äänilähde
- Valkotaulu ja tussi, muistiinpanovälineet oppilaille

### Suunnitelma:

#### 1. Pohjustus (5 min):

- Aiheen esittely, esimerkiksi: "Tänään opimme desibeleistä, jotka ovat äänenvoimakkuuden mittayksikkö."
- Kysely ja keskustelun avaus, esimerkiksi: "Oletteko koskaan miettineet, kuinka voimakkaan kuuloisia erilaiset äänet ovat? Tai kuinka äänenvoimakkuus mitataan?"

#### 2. Teoriaosuus (10 min):

- Selitetään, mitä desibelit ovat: Desibeli on yksikkö, joka mittaa äänenvoimakkuutta. Desibeliasteikolla 0 dB on kuulokynnys, eli hiljaisin ääni, jonka ihminen voi kuulla.
- Näytetään muutamia esimerkkejä: Kuiskauksen äänenvoimakkuus on noin 30 dB, normaali keskustelu on noin 60 dB, ja rock-konsertti voi olla jopa 120 dB.
- Kerrotaan, että desibeliasteikko on logaritminen, mikä tarkoittaa, että äänenvoimakkuuden kaksinkertaistuminen vastaa noin 3 dB lisäystä. Logaritmisuutta voidaan avata enemmänkin kaavoina ja graafisesti, jos oppilaiden kypsyystasoon ja opettajan itsensä tietämys sen mahdollistaa.

#### 3. Demonstraation valmistelu (5 minuuttia):

- Jaetaan oppilaat pieniin (kuitenkin vähintään neljän hengen) ryhmiin ja annetaan jokaiselle ryhmälle puhelin tai tabletti, jossa on desibelimittari-sovellus. Jos luokka on kovin pieni, voidaan tämä tehdä jakautumatta ryhmiin.
- Varmistetaan, että kaikilla on toimiva mittari ja että he osaavat käyttää sitä.

#### 4. Desibelien mittaaminen käytännössä (15 minuuttia):

- **Ensimmäinen koe:**
  - Mittaa yhden nokkahuilun äänenvoimakkuus. Soitattakaa huilua tavanomaisella äänenvoimakkuudella ja katsokaa mittarista lukemat.
  - Kirjataan tulokset ylös.
- **Toinen koe:**
  - Soitata kaksi nokkahuilua yhtä aikaa ja mittaa äänenvoimakkuus. Pitäkää soittovoimakkuus ja huilujen etäisyys mittarista mahdollisimman samana kuin ensimmäisessä kokeessa.
  - Kirjataan tulokset ylös ja keskustellaan, miksi äänenvoimakkuus ei kaksinkertaistunut.
- **Kolmas koe:**
  - Soitata kolme nokkahuilua yhtä aikaa ja mittaa äänenvoimakkuus.
  - Kirjataan tulokset ylös ja verrataan niitä aiempiin mittauksiin.

#### 5. (Mahdollinen lisäaihe) Kuulokynnys ja äänen altistus (10 minuuttia):

- Keskustellaan kuulokynnyksestä ja eri äänten voimakkuudesta. Ainakin nämä olisi hyvä sisäistää: Ihmisen kuulokynnys on noin 0 dB. Yli 85 dB äänet voivat vahingoittaa kuuloa, jos altistuu niille pitkään.
- Käsitellään äänen altistusrajoista (esim. 85 dB turvallinen altistusaika on 8 tuntia, 100 dB vain 15 minuuttia). Tähän löytyy verkosta taulukoita, joita voidaan tutkia.
- Keskustellaan käytännön esimerkeistä, vaikkapa: "Kuinka pitkään voitte kuunnella musiikkia kuulokkeilla täydellä äänenvoimakkuudella?"

#### 6. Hypoteesin tekeminen ja testaaminen (10 minuuttia):

- Pyydetään oppilaita tekemään hypoteesi siitä, mitä tapahtuu, jos lisätään vielä yksi nokkahuilu (neljä yhteensä).
- Testataan hypoteesi käytännössä ja mitataan äänenvoimakkuus.
- Keskustellaan havainnoista ja vertaillaan niitä ennako-oletuksiin.

#### 7. Yhteenveto ja pohdinta (5 minuuttia):

- Keskustellaan siitä, mitä opittiin desibeleistä ja äänenvoimakkuudesta.
- Pohditaan, miten tämä tieto voi auttaa suojelemaan kuuloa arjessa.
- Kysytään oppilailta heidän kokemuksistaan ja ajatuksistaan.

#### Ideoita:

Demonstraation lopuksi oppilaiden pitäisi ymmärtää desibelien merkitys ja miten äänenvoimakkuus mitataan. Heidän tulisi ymmärtää, että äänenvoimakkuus ei kasva lineaarisesti äänilähteiden lisääntyessä, ja että altistus koville äänille voi olla haitallista. Tätä demonstaatiota on mahdollista laajentaa vaikkapa piirtämällä millimetripaperille mitattuja desibelimääriä nokkahuilujen määrän funktiona. Voidaan ottaa myös äänen paine käsittelyyn, mikäli oppilailta ja opettajalla on tähän valmiuksia.

**Lisää aiheesta:** <https://web.uniarts.fi/akustiikka/> ( → Peruskäsitteitä → Hertsi, sentti ja desibeli)

## 6. Resonanssi – ääniraudat ja soittimet värähtelemään



Tässä demonstraatioissa tutustutaan resonanssiin ilmiönä ja erityisesti ääneen liittyvään resonanssiin. Resonoiminen liittyy paitsi tilojen akustiikkaan, myös siihen, miten kaikukopalliset soittimet soivat, ja miten soittaja tietyissä soittimissa voi tuntea resonanssin ja hyödyntää sitä löytääkseen puhtaasti soivia säveliä.

### Tavoitteet:

1. Ymmärtää resonanssin peruseriaatteet ja havainnollistaa ilmiötä käytännössä.
2. Oppia, miten resonanssi vaikuttaa soittimissa ja niiden virittämisessä.
3. Kokea ja kuulla resonanssin vaikutukset konkreettisesti.
4. Osallistua hypoteesin tekemiseen ja testaamiseen.

### Tarvittavat välineet:

- Kaksi saman taajuista äänirautaa (esim. 440 Hz)
- Kaksi äänirautaa, joiden taajuudessa on pieni ero (esim. 440 Hz ja 442 Hz)
- Kaksi resonanssikoteloja tai puulaatikkoa äänirautojen alle
- Kontrabasso tai muu soitin, jossa on helposti havaittavissa oleva resonanssi
- Kaiutin ja äänilähde (esim. tietokone tai puhelin)
- Valkotaulu ja tussit, muistiinpanovälineet oppilaille

### Suunnitelma:

#### 1. Johdanto (5 min):

- Aiheen esittely, esimerkiksi: "Tänään opimme resonanssista, joka on ilmiö, jossa yksi värähtelevä esine saa toisen esineen värähtelemään samalla taajuudella."
- Kysely ja keskustelun avaus, esimerkiksi: "Oletteko huomanneet, että jotkut soittimet resonovat tai värähtelevät yhdessä muiden soitinten kanssa? Miksi niin tapahtuu?"

#### 2. Teoriaosuus (10 min):

- Selitetään resonanssi: Resonanssi tapahtuu, kun yhden esineen värähtelytaajuus on sama kuin toisen esineen luonnollinen taajuus, jolloin toinen esine alkaa värähtelemään.
- Annetaan esimerkkejä resonanssista: Kun laulaja osuu oikeaan taajuuteen, hän voi ainakin myytin mukaan rikkoa kristillilasit. Joskus luokassa vaikkapa lamppu resonoi aina, kun soittaa tietyn sävelen. Resonanssia hyödynnetään myös soittimissa ja toisaalta joskus niissä esiintyy epätoivottua resonanssia, ns. susiääniä.
- Kerrotaan, että teemme kokeita, joilla havainnoimme resonanssia ja huojuntaa.

#### 3. Demonstraation valmistelu (5 min):

- Jaetaan oppilaat pieniin ryhmiin ja annetaan jokaiselle ryhmälle ääniraudat ja resonanssikotelot.
- Varmistetaan, että kaikilla on toimivat välineet ja että he osaavat käyttää niitä.

#### 4. Resonanssin havainnollistaminen (15 min):

- **Ensimmäinen koe:**
  - Ota kaksi saman taajuista äänirautaa ja aseta ne vierekkäin resonanssikoteloiden päälle.
  - Napauta toista äänirautaa ja tarkkaile, kuinka toinen äänirauta alkaa värähtelemään.
  - Kuunnelkaa myös, kuinka äänirautoista tulevat äänet sulautuvat täysin toisiinsa, eli niiden interferenssissä ei esiinny huojuntaa, kun kumpikin napautetaan soimaan. Kirjataan havainnot ylös.
- **Toinen koe:**
  - Ota kaksi äänirautaa, joiden taajuudessa on pieni ero (esim. 440 Hz ja 442 Hz).
  - Napauta kumpaakin äänirautaa ja kuuntele, kuinka syntyy huojunta (äänen voimakkuus vaihtelee säännöllisesti).
  - Kuunnelkaa ja laskekaa huojuntataajuus (kaksi kertaa sekunnissa, jos ero on 2 Hz), kirjataan havainnot ylös.

#### 5. Resonanssin tutkiminen soittimilla (10 minuuttia):

- Näytetään resonanssi soittimella: Kun soittaa viereistä vapaata kieltä vastaavan sävelen painettuna, lähtee vapaa kieli värähtelemään hyvinkin voimakkaasti.
- Kysytään oppilailta, mitä he kuulevat ja näkevät ja kirjataan havainnot.
- Keskustellaan siitä, kuinka muusikot käyttävät resonanssia soittimien virittämisessä (esim. Vertaamalla oman soittimen a-säveltä vireessä olevaan a-säveleen ja kuuntelemalla, kuinka huojuntaa ei synny.)

#### 6. Hypoteesin tekeminen ja testaaminen (10 minuuttia):

- Pyydetään oppilaita tekemään hypoteesi siitä, mitä tapahtuu vapaalle viellelle ja voiko tämän tapahtuman kuulla / nähdä / tuntea, jos soittimesta soittaa oktaavia korkeamman tai matalamman sävelen painettuna (vapaa kieli lähtee nytkin värähtelemään kohtalaisesti mukana).
- Testataan hypoteesi käytännössä. Monet jousisoittajat tuntevat nämä värähtelyt ja käyttävät niitä puhtaaseen soittoon, silloinkin kun vaikka orkesterissa eivät kuule omaa soittoaan.
- Keskustellaan havainnoista ja vertaillaan niitä ennako-oletuksiin.

#### 7. Yhteenveto ja pohdinta (5 minuuttia):

- Keskustellaan siitä, mitä opittiin resonanssista ja huojunnasta.
- Pohditaan, miten tämä tieto voi auttaa muusikkoja käytännössä.
- Kysytään oppilailta heidän kokemuksistaan ja ajatuksistaan.

#### **Ideita:**

Oppilaiden pitäisi nyt ymmärtää resonanssin peruseräatteen ja miten se vaikuttaa muun muassa soittimien virittämiseen. Jatkona tälle voidaan vaikkapa etsiä luokasta ääniin resonoivia rakenteita tai pohtia resonanssia ilmiönä muussa kuin musiikin yhteydessä.

**Lisää aiheesta:** [https://en.wikipedia.org/wiki/Acoustic\\_resonance](https://en.wikipedia.org/wiki/Acoustic_resonance)

## 7. Yläsävelsarja ja resonanssi - pianolla havainnollistaminen

Tätä demonstraatiota voidaan lähestyä kolmella tavalla:

- \* Voidaan keskittyä pianon toimintaperiaatteisiin
- \* Voidaan pohjustaa sekä resonanssia että yläsävelsarjaa, joista tehdään myöhemmin tarkemmat demonstraatiot.
- \* Voidaan yhdistää jo opitut asiat resonanssista ja yläsävelsarjasta.

Demonstaatioiden 1-6 rakenteen pohjalta voit hahmotella sopivan tuntisuunnitelman sen pohjalta, miten tätä koetta haluat lähestyä. Kirjoitan näin ollen alla vapaammin aiheesta.

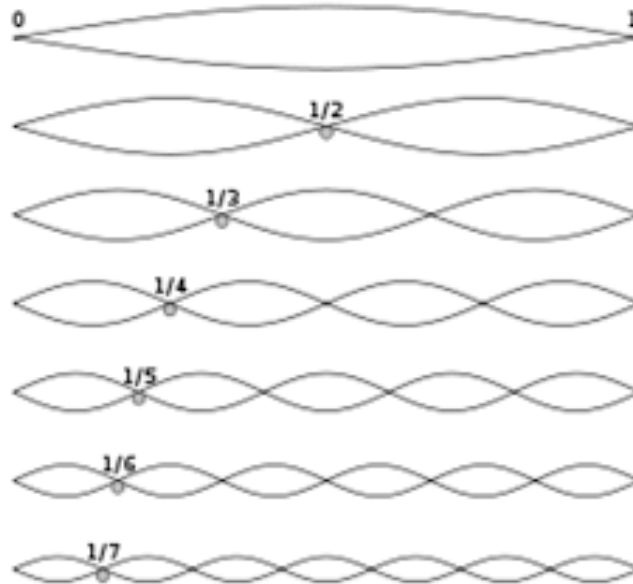
Tähän demonstraatioon tarvitaan lähtökohtaisesti vain piano tai flyygeli, jonka kannen saa auki. Kannen avauksen jälkeen on hyvä hetki esitellä soittimen toimintaperiaatetta, kuten vasaroiden toimintaa ja erilaisia kieliä. Oppilaiden voi myös antaa arvata, mitä koneistossa tapahtuu, kun kunkin pedaalin painaa pohjaan. Esimerkiksi ”kerrostalopedaalilla”, jota kaikissa pianoissa ei ole, saa kankaan laskeutumaan vasaroiden ja kielten väliin.

Seuraavaksi olen yleensä kertonut oppilaille sekä resonanssista (kuten äänirauta-demonstraatioissa) ja kertonut yläsävelsarjasta (lyhyesti, tai sitten pidemmin, esitellen seuraavalla sivulla olevan kaavion). Sivun alareunassa on yläsävelsarja sävelestä suuri C alkaen. Jossakin vaiheessa koetta on hyvä pohtia, miltä yläsävelsarja näyttää jostakin muusta sävelestä, ja esimerkiksi syventävän musiikinteoriakurssin sisältöön kuuluukin osata nuotintaa yläsävelsarjaa noin 11 nuottia mistä tahansa pohjasävelestä alkaen.

Kun pianon toimintaperiaate, resonanssi ja yläsävelsarja on esitelty, voidaan edetä itse yläsävelsarjan demonstroitamiseen pianolla. Tätä varten voidaan ensin napauttaa voimakkaasti ja lyhyesti (ei pedaalia pohjassa) jotakin matalan sävelen kosketinta ja kuunnella, soiko sen lisäksi jotakin muuta. Monissa pianoissa kuuluu jo tässä kohtaa hieman yläsävelsarjan mukaisia kaikuja – ei yleensä kovin paljoa, sillä tassumaiset sammuttajat pitävät muita kieliä paikoillaan. Seuraavaksi toistetaan sama koe, mutta varoivaisesti painetaan pohjaan yläsävelsarjan mukaisten sävelten koskettimet. Varoivaisuus tarkoittaa siis sitä, että ei saateta kieliä soimaan, mutta nostetaan vaimentimet pois. Seuraavaksi napautetaan jälleen voimakkaasti ja lyhyesti pohjasävel soimaan, ja nyt kuullaan, kuinka koko yläsävelsarja ”helisee” pitkäänkin mukana. On tärkeää soittaa pohjasävel voimakkaasti, jotta saadaan pohjasävelen mukana soivien yläsävelten käynnistämät, resonanssiin pohjautuvat, värähtelyt aikaan vapautetuissa kielissä. Napautuksen nopeus on tärkeä, jotta itse pohjasävel ei jäisi soimaan yläsävelten kanssa, jolloin yläsävelet on helpompi kuulla. Samasta syystä ei kaikupedaalia, joka päästää kaikki kielet soimaan vapaasti, tule käyttää tässä vaiheessa.



Tästä demonstraatiosta voidaan myös edetä luontevasti pohtimaan, miten yläsävelsarja esiintyy muissa soittimissa. Kielisoittimissa se esiintyy paitsi äänen sävynä myös ns huiluääninä eli flagoletteina, joista on oma demonstraationsa. Puhallinsoittimissa, etenkin vaskipuhaltimissa, yläsävelsarja esiintyy sävelinä, jotka saadaan aikaan ainoastaan puhallustekniikkaa muuttamalla. Alla on kuvat kielten ensimmäisistä osittaisvärähtelystä ja yläsävelsarjasta.



The musical notation shows the first 16 notes of the upper partial series in a treble clef, with corresponding bass clef notes below. The notes are numbered 1 through 16. The notes are: 1. C4, 2. C4, 3. G3, 4. F3, 5. E3, 6. D3, 7. C3, 8. B2, 9. A2, 10. G2, 11. F2, 12. E2, 13. D2, 14. C2, 15. B1, 16. A1.

Lisää aiheesta: <https://web.uniarts.fi/akustiikka/> (→ Peruskäsitteitä → Osaääneistö)

## 8. Viritysjärjestelmät – intervallit puhtaiksi



Tässä demonstraatiossa tutustutaan erilaisiin viritysjärjestelmiin ja niiden toimintaperiaatteisiin. Eri aikoina on suosittu erilaisia viritysjärjestelmiä, ja myös soitinkohtaisia eroja löytyy nykypäivänäkin. Piano on tästä hyvä esimerkki, sillä se viritetään tasavireisesti, jolloin kaikki sävellajit soivat yhtä hyvin (eli yhtä huonosti). äytettiin laajalti jo ennen renessanssia.

Antiikin aikana eläneen Pythagoraan opit vaikuttivat musiikinteoriaan, ja hänen mukaansa nimetty viritysjärjestelmä oli pitkään vallitseva. Se perustuu puhtaaksi viritettyjen kvinttien ketjuun, jolloin kuitenkin esimerkiksi duuriterssit jäivät todella suuriksi. Puhtaasti viritetty järjestelmä puolestaan kehitettiin osittain pythagoralaisen virituksen ongelmien ratkaisemiseksi. Puhtaasti viritetyt intervallit ovat harmonisempia ja miellyttävämpiä korvalle, kun tärkeät intervallit, kuten terssit, voidaan optimoida täysin puhtaiksi. Käytännössä puhtaasta virityksestä joudutaan joustamaan muun muassa muunnosointujen kohdalla. Tasavireisyys kehitettiin 1700-luvulla barokin ja klassismin aikana ratkaisemaan viritysongelmia. Tasavireisyys mahdollistaa soittamisen kaikissa sävellajeissa ilman virituksen muuttamista, mutta sen intervallit eivät ole täysin puhtaita.

### Tavoitteet:

1. Tutustua yleisimpiin viritysjärjestelmiin, niiden kuulokuvaan, historiaan ja toimintaperiaatteisiin.

### Tarvittavat välineet:

- Tasavireisiä soittimia, kuten piano ja mahdollisesti nauhallisia kielisoittimia.
- Soittimia, joissa virettä voidaan säätää vapaasti, kuten jousisoittimet.
- Tietokone tai tabletteja, joissa musiikinteko-ohjelmia.

### Suunnitelma:

#### 1. Alkutoimet (5 min):

- Aiheen pohjustus, esimekiksi: "Tänään opimme erilaisista viritysjärjestelmistä ja siitä, miten ne vaikuttavat musiikkiin."
- Kysely: "Oletteko huomanneet, että jotkut soinnut kuulostavat erilaisilta eri soittimilla? Tiedättekö, miksi näin tapahtuu?"

#### 2. Teoriaosuus (10 min):

- Selitetään pythagoralainen viritys ja puhtaasti viritetty järjestelmä (käyttäen edellä mainittuja matemaattisia ja historiallisia taustoja).
- Annetaan esimerkkejä käytännön sovelluksista ja ongelmista eri viritysjärjestelmien yhteensovittamisessa.

### 3. Demonstraation valmistelu (5 min):

- Jaetaan oppilaat pieniin ryhmiin ja annetaan jokaiselle ryhmälle soitin tai tietokone, jossa on viritysohjelma (sekä vitysmittareissa että musiikinteko-ohjelmissa voi usein valita käytettävän vitysmenetelmän).

### 4. Vitysjärjestelmien havainnollistaminen käytännössä (15 min):

- Soitetaan asteikko ja soinnut eri vitysjärjestelmissä (tasavireinen, pythagoralainen ja puhtaasti viritetty).
- Kuullaan ja vertaillaan, miltä asteikot ja soinnut kuulostavat eri järjestelmissä.

### 5. Hypoteesin tekeminen ja testaaminen (10 min):

- Pyydetään oppilaita tekemään hypoteesi siitä, mikä vitysjärjestelmä kuulostaa parhaalta tietyssä musiikkityylissä.
- Testataan hypoteesi soittamalla saman musiikkikappaleen pätkä eri vitysjärjestelmissä, esimerkiksi musiikinteko-ohjelmalla.

### 6. Yhteenveto ja pohdinta (10 min):

- Keskustellaan siitä, mitä opittiin vitysjärjestelmistä ja niiden vaikutuksesta musiikkiin.
- Pohditaan, miten eri vitysjärjestelmät vaikuttavat eri musiikkityyleihin ja soittimiin. Puhutaan myös kompromisseista, joita soittajat joutuvat musisoidessaan tekemään.
- Kysytään oppilailta heidän kokemuksistaan ja ajatuksistaan.

#### Ideita:

Demonstraation lopuksi oppilaiden pitäisi ymmärtää, mitä pythagoralainen vitys ja puhtaasti viritetty järjestelmä ovat ja miten ne eroavat tasavireisestä järjestelmästä. He oppivat kuulemaan eroja eri vitysjärjestelmien välillä ja ymmärtävät, miten ne vaikuttavat sointuihin ja asteikkoihin. Verkosta löytyy myös mielenkiintoisia videoita, joilla soitetaan sama kappale puhtaasti viritetyllä kosketinsoittimella (joka on käytännössä historiallinen perinne, sillä nykyään kosketinsoitinmusiikkia esitetään lähinnä tasaisesti viritetyillä soittimilla, useimmiten pianolla tai flyygelillä) ja tasavireisesti viritetyllä. Esimerkiksi ns vanhamusiikkia (renessanssi/barokki) kuulostaa huomattavasti paremmalta, kun vitys on toteutettu kappaleen sävellajin suhteen optimoiden. Eri vitysjärjestelmissä laulaminen menee jo monimutkaiseksi, mutta johtosäveln suhteen asiaa on vielä suhteellisen helppo testata: perussävel – johtosävel – perussävel puhtaasti laulettuna on huomattavasti pienempi liike kuin pianon mukaan tasavireisesti kesimääräisenä puolsävelaskeleena toteutettuna. Voidaan myös kuunnella, milloin intervallit soivat puhtaimman kuuloisesti. Tätä voidaan esimerkiksi testata viulua viritämällä ja kvinttiä kuuntelemalla.

Lisää aiheesta: <https://web.uniarts.fi/akustiikka/> (→ Vitysjärjestelmistä)

## Loppusanat

Toivon, että tämä materiaali rikastuttaa musiikin opetusta fysiikan avulla. Demonstraatiot tarjoavat käytännönläheisen tavan tutkia ja ymmärtää äänen ja musiikin taustalla olevia fysiikan ilmiöitä. Parhaimmillaan ne herättävät myös uteliaisuutta ja innostusta luonnontieteiden ja musiikin yhteisiä rajapintoja kohtaan.

Jokainen oppitunti on mahdollisuus luoda merkityksellisiä oppimiskokemuksia, ja nämä demonstraatiot voivat toimia apuvälineenä tämän tavoitteen saavuttamisessa. Uskon, että musiikin opiskelijat ja muusikot hyötyvät suuresti fysiikan ymmärryksen lisäämisestä, ja että tämä ymmärrys voi parhaimmillaan syventää heidän musiikillista ilmaisuaan ja teknistä osaamistaan.

Kiitän kaikkia opiskelijoitani, jotka ovat vuosien varrella osallistuneet näiden demonstraatioiden testaamiseen. Heidän palautteensa ja innostuksensa ovat olleet korvaamattomia tämän materiaalin koostamisessa. Toivotan menestystä ja iloa kaikille, jotka käyttävät laatimaani materiaalia opetuksessaan.

