

NÄKÖKULMIA ÄÄNENLAATUUN MUSIIKIN ETÄOPETUKSESSA



Ammattikorkeakoulututkinnon opinnäytetyö

Tietojenkäsittelyn koulutus, Hämeenlinnan korkeakoulukeskus
syksy, 2021

Jussi Suonikko

TIIVISTELMÄ

Musiikin etäopetuksen yksi erityispiirre on tarve hyvälaatuiselle äänelle. Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää äänenlaatuun vaikuttavia tekijöitä musiikin etäopetuksessa ja tutkia mitä musiikkioppilaitoksen tulee ottaa huomioon etäopetusteknologiaa hankkiessa. Opinnäytetyön toimeksiantajana oli musiikkioppilaitos.

Opinnäytetyön tietopohja koostuu äänenlaadun arvioinnista, äänen digitoinnista, äänen siirtämisestä verkossa ja etäopetusteknologiasta. Tietopohjan erityinen pääpaino on kuitenkin mikrofoneissa ja etäopetusohjelmistoissa. Opinnäytetyö on toiminnallinen ja työtä varten tehtiin USB-mikrofonitestejä sekä katsaus etäopetusohjelmistoihin.

Mikrofonitesteissä äänitettiin instrumentteja suoraan tietokoneen kovalevyllä ja etäopetusohjelmien läpi. Äänitteitä analysoitiin ja mikrofonioiden toimintoja sekä käytettävyyttä tutkittiin. Ohjelmistokatsauksessa perehdyttiin erityisesti etäopetusohjelmien äänitoimintoihin ja -asetuksiin.

Testien ja katsauksen perusteella on koulutettu oppilaitoksen henkilökuntaa ja tehty suosituksia etäopetusteknologian hankintaan ja käyttöön oppilaitoksessa. Työn pohjalta julkaistiin myös artikkeli Riffi-lehdessä.

Avainsanat Etäopetus, verkko-opetus, äänenlaatu, musiikkiteknologia, musiikki

Sivut 37 sivua ja liitteitä 5 sivua

Author Jussi Suonikko

Year 2021

Subject Sound quality in music distance learning

Supervisors Mirlinda Kosova-Alija

ABSTRACT

There is a special need for good sound quality in music distance learning. The purpose of this thesis was to find out the factors of sound quality in music distance learning and to explore what a music school should consider when investing in music distance learning technology. The thesis was commissioned by a music school.

The theoretical basis of the thesis discusses the assessment of sound quality, basic theory of digital audio, transferring audio in the internet and the technology of music distance learning. Special focus of the theoretical basis is on music distance learning software and microphones. The thesis is practical. A review of music distance learning software was made and USB-microphones were tested for the thesis. The USB-microphone tests were conducted by recording instruments to a digital audio workstation directly and through a music distance learning software. The recordings were then analyzed. Other features and usability of the microphones were also explored. The review of music distance learning software was focused on the audio functions and audio settings of the software.

The commissioner of the thesis has trained its faculty and made recommendations for use and purchase of music distance learning technology based on the tests and reviews. Riffi magazine also published an article based on the thesis.

Keywords Distance learning, web-based teaching, sound quality, music technology, audio

Pages 37 pages and appendices 5 pages

Sanasto

AAX	Avid Audio eXtension, plug-in -rajapinta Pro Tools -ohjelmalle
AU	Audio Units, Applen plug-in -rajapinta
Audio interface	Ulkoinen äänikortti
Bidirectional	Mikrofonin suuntakuvio, kahdeksikkokuvio
Blumlein	Alan Blumleinin kehittämä stereomikrofonitekniikka
Buffer	Puskuri
DAW	Digital Audio Workstation, digitaalinen äänityöasema
Figure-of-eight	Mikrofonin suuntakuvio, kahdeksikkokuvio
Gain	Äänen vahvistuksen voimakkuuden säätö
H.323	Videoneuvotteluyhteyksien protokolla
Jitter	Datapakettien välinen aikaviive tiedonsiirrossa
Kardioidi	Mikrofonin suuntakuvio, herttakuvio
Latenssi	Viive
Lossless	Häviötön datapakkaus
Lossy	Häviöllinen datapakkaus
MIDI	Musical Instrument Digital Interface
Omnidirectional	Mikrofonin suuntakuvio, pallokuvio
Packet loss	Datasiirrossa tapahtuva pakettien katoaminen matkalla
PCM	Pulse Code Modulation. Äänen digitointitapa.
Peer-to-peer	Vertaisverkko
Phantom-jännite	Kondensaattorimikrofonin toimintaan tarvittava jännite
Plug-in	Tietokoneohjelman liitännäisohjelma
SIP	Session Initiation Protocol, yhteysprotokolla videoneuvottelussa
Stand-alone	Ohjelma, joka on suunniteltu toimimaan yksin. Vrt. plug-in
Unidirectional	Mikrofonin suuntakuvio, herttakuvio
VST	Virtual Studio Technology, Steinbergin plug-in -rajapinta
XY	Stereomikrofonitekniikka

Sisälllys

1	Johdanto	1
2	Äänenlaatuun vaikuttavia tekijöitä etäopetuksessa	2
2.1	Äänenlaadun arviointi ja testaus	2
2.2	Äänen digitointi.....	3
2.3	Äänen pakkaus	4
2.4	Yhteysprotokollat.....	5
2.5	Verkon vaatimukset etäopetuksessa ja viive.....	6
2.6	Etäopetusohjelmistot.....	7
2.7	Etäopetuslaitteisto	9
2.8	Mikrofonit	10
2.8.1	Mikrofonityypit	10
2.8.2	Suuntakuviot	11
2.8.3	Mikrofonitekniikat.....	12
2.9	Äänikortit	13
2.10	Kuuntelu.....	14
3	Oppilaitoksen etäopetusteknologian tarve.....	15
3.1	Taustaa	15
3.2	Mahdollisia laitteistokombinaatioita	16
3.3	Soveltuvan etäopetusteknologian etsiminen	17
4	Katsaus etäopetusteknologiaan	18
4.1	USB-mikrofonitestit.....	18
4.2	Ohjelmistokatsaus.....	20
5	Johtopäätökset ja havainnot	22
5.1	Havainnot ohjelmistoista	22
5.1.1	Zoom.....	23
5.1.2	Teams	24
5.1.3	Meet.....	25
5.1.4	Cleanfeed	25
5.1.5	SonoBus.....	27
5.1.6	Jamulus.....	28
5.2	Havainnot USB-mikrofoneista.....	29
6	Yhteenveto	33
	Lähteet.....	34

Kuvat ja taulukot

Kuva 1 Äänen digitointi (Masteringbox. n.d.).....	4
Kuva 2 Dynaamisen Shure SM58 -mikrofonin taajuusvaste (Shure, n.d.).....	11
Kuva 3 DPA 4006 -kondensaattorimikrofonin taajuusvaste (DPA Microphones, n.d.)...	11
Kuva 4 Suuntakuviot (Hensall, M. 2015).	12
Kuva 5 Kehtoripustin (Neumann, n.d.).	13
Kuva 6 Testatut mikrofonit.....	19
Kuva 7 Testitapahtuma.....	20
Kuva 8 Zoomin työpöytäversion ääniasetuksia 1 (versio 5.6.4).....	23
Kuva 9 Zoomin työpöytäversion ääniasetuksia 2 (versio 5.6.4).....	24
Kuva 10 Zoomin iOS-mobiiliversion ääniasetukset (versio 5.6.4).....	24
Kuva 11 Microsoft Teamsin macOS-version ääniasetukset (versio 1.4.00.22265)	25
Kuva 12 Google Meet -selainversion äänitoiminnot.....	25
Kuva 13 Cleanfeedin toimintoja	26
Kuva 14 Cleanfeedin ääniasetuksia	27
Kuva 15 SonoBus	27
Kuva 16 Jamulus	28
Kuva 17 Jamuluksen ääniasetuksia.....	29
Taulukko 1 Äänitiedostojen vertailua.....	5
Taulukko 2 Ohjelmistojen vertailua.....	22
Taulukko 3 Mikrofonien teknisten ominaisuuksien vertailua	30
Taulukko 4 USB-mikrofonien säätimiä ja erityispiirteitä	31

Liitteet

Liite 1	Aineistonhallintasuunnitelma
Liite 2	Riffi-lehden artikkeli: Musiikinopetusta etänä – USB-mikrofoni on myös äänikortti

1 Johdanto

Jos musiikin kirjekursseja ei lasketa mukaan, on Suomessa musiikin etäopetuksella neljännesvuosisadan perinteet. Heti ensivaiheessa kiinnostuttiin nimenomaan synkronisista keinoista, siis sellaisista, joissa opettaja ja oppilas työskentelevät samanaikaisesti eri paikkakunnilla. Musiikin etäopetus on ollut melko harvinaista, mutta koronapandemian alku siirsi musiikkitunnit hetkessä internetiin. Erilaiset verkkokokousjärjestelmät ovat hyvin monipuolisia, ja niiden avulla musiikkituntien pito on mahdollista.

Laadukas musiikinopetus verkon yli vaatii käytettävältä laitteistolta ja ohjelmistolta enemmän kuin puheääneen keskittyvä opetus. Instrumenttien ja laulun äänenkorkeuden ja voimakkuuden vaihtelut eroavat merkittävästi ihmisen puheäänestä.

Tässä opinnäytetyössä tutkin etäopetusteknologiaa. Selvitän erityisesti äänenlaatuun vaikuttavia tekijöitä etäopetustilanteessa. Tutkin, millaisia vaihtoehtoja on musiikin etäopetusohjelmiksi ja miten ne käsittelevät ääntä. Tutustun lisäksi etäopetuslaitteistoon ja erityisesti markkinoilla oleviin USB-mikrofoneihin. Pohdin niiden hyötyjä musiikin etäopetuksessa ja vertailen niiden käytettävyyttä.

Opinnäytetyö tehdään yksityiselle musiikin opetusta järjestävälle oppilaitokselle. Oppilaitos on omalla paikkakunnallaan näkyvä toimija musiikinopetuksen antajana ja valtakunnallisesti merkittävä ammatillisen toisen asteen kouluttaja. Opinnäytetyön pohjalta on myös julkaistu artikkeli Riffi-lehdessä (nro. 2-2021). Artikkelin on tämän työn liitteenä (ks. Liite 2).

Opinnäytetyön tavoitteena vastata seuraaviin tutkimuskysymyksiin:

- Mitkä ovat äänenlaatuun etäopetuksessa vaikuttavat tekijät?
- Mikä on toimeksiantajaoppilaitoksen etäopetusteknologian tarve?
- Mitä oppilaitoksen tulisi ottaa huomioon etäopetusteknologiaa hankittaessa?

2 Äänenlaatuun vaikuttavia tekijöitä etäopetuksessa

Musiikin etäopetuksesta on joitakin suomalaisia tutkimuksia. Suomen musiikkikasvatusteknologian seuran artikkelikokoelma Musiikkikasvatusteknologia käsittelee aihetta laajasti. Teos on kuitenkin vuodelta 2006 ja tekninen näkökulma on monin paikoin vanhentunutta. Uudemmista tutkimuksista mainittakoon Matti Ruipon Taideyliopiston Sibelius-Akatemian lisensiaatintyö musiikin verkko-opetuksesta vuodelta 2015, jossa teknologia on jo 2010-luvulla. Aiempi tutkimus on pääosin pedagogialähtöistä. Tässä työssä keskitytään teknologiaan ja pedagoginen näkökulma jää pois.

Musiikkia äänitettäessä on laadukkaan äänitteen ohjenuorana usein niin sanottu **Good Rule**, joka kuuluu: hyvä muusikko + hyvä instrumentti + hyvä esitys + hyvä akustiikka + hyvä mikrofoni + hyvä mikrofoniaasettelu = hyvä äänite (Huber, 2005, s. 116). Kaikki edellä listatut asiat vaikuttavat äänenlaatuun myös etäopetuksessa, mutta tässä opinnäytetyössä tutkitaan, miten käytettävä laitteisto, ohjelmisto sekä verkkoyhteyden laatu vaikuttavat äänenlaatuun. Opinnäytetyössä äänenlaatua lähestytään erityisesti tasaisen taajuustoiston ja hyvän dynamiikan toiston kannalta, jotka ovat mitattavia asioita (Aho, 2006, s. 26). Äänenlaadusta puhuttaessa tarkoitetaan yleensä äänentoiston tarkkuutta suhteessa alkuperäisen äänilähteen tuottamaan ääneen. Ihmisen kuuloalue on teoriassa 20-20 000 Hz ja kuulon dynaaminen skaala kuulokynnyksestä kipukynnykseen 120 dB. Äänisignaalin siirrossa tulisi siis pyrkiä vähintään samaan laatuun. (Ojala, 2006)

2.1 Äänenlaadun arviointi ja testaus

Äänenlaatu on osin subjektiivinen käsite: eri ihmiset aistivat äänen laadukkuutta eri tavoin. Äänenlaatu on myös tieteellisesti mitattavissa. (Rossing, 1990, s. 514-515). Eero Aro kirjoittaa Tilaääni-kirjassaan seuraavasti (2006, s. 27):

Äänentoiston tekniset laatutekijät, kuten signaalin taso, särö, huojunta ja taajuustoisto ovat yleensä mitattavissa ja tulokset yksiselitteisiä. Kuulemisen fyysikaaliseen puoleen liittyviä asioita, kuten äänen intensiteettiä, aikaeroja, äänenpainetta, jne., voidaan myös mitata ja aivotomintaakin on mahdollista jossakin

määrin mallintaa, mutta kun siirrytään havaintopsykologian alueelle, niin mittaaminen vaikeutuu huomattavasti.

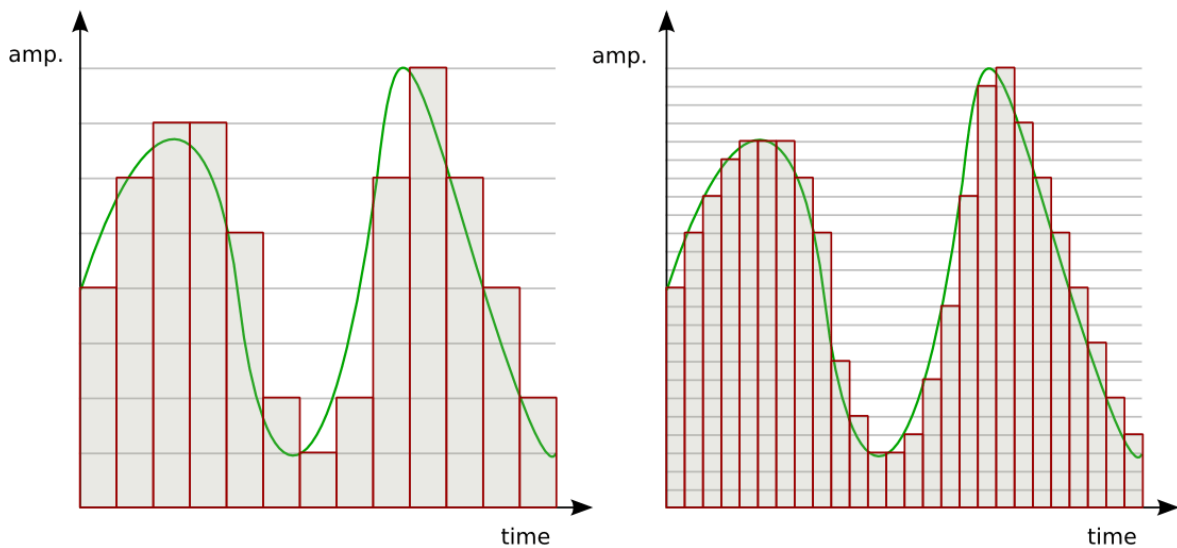
Äänen laadukkuutta voidaan arvioida subjektiivisesti kuuntelutestein, joissa on tapana mainita millaisista kuulijoista testiyleisö koostuu. Tämä on olennaista, sillä ihmiset arvioivat äänen laadukkuutta aina omista lähtökohdistaan. Äänialan ammattilaiset kuuntelevat äänessä eri asioita kuin ”maallikot”. Kuuntelutestein äänen laadukkuutta arvioitaessa parhaana tapana pidetään yleensä niin sanottua AB-testausta. AB-testissä ääninäytteet kuunnellaan ”sokkona” samalla äänenvoimakkuudella. (Aczel, 1991) Testiyleisö järjestää kuuntelemansa näytteet mieleiseensä järjestykseen annettujen ominaisuuksien pohjalta. (Aho, 2006)

2.2 Äänen digitointi

Mitä tarkemmin alkuperäinen ääni toistetaan, sitä laadukkaampi on äänentoiston signaaliketju. Kun analoginen ääni digitoidaan, käytetään yleisimmin menetelmänä pulssikoodimodulaatiota (PCM, pulse code modulation), jossa ääni näytteistetään ennalta määrätyllä näytetaajuudella. Tämä tarkoittaa, että äänestä otetaan tietty määrä näytteitä sekunnissa. Näytteiden äänenvoimakkuus määräytyy dynamiikka-asteikolle, jonka tarkkuuden määrää bittisyvyys. Mitä suurempi näytetaajuus ja bittisyvyys, sen tarkempaa on digitointi. Nyquistin teoreeman mukaan ääntä digitoidessa näytetaajuuden tulee olla kaksi kertaa niin suuri kuin korkein toistettava taajuus. Tämä johtaa siihen päätelmään, että laadukas ääni on digitoitava vähintään 40 kHz näytetaajuudella, jotta koko kuuloalue toistuisi oikein. (Rossing, 1990, s. 556)

Vertailun vuoksi esimerkiksi CD-levyn biittisyvyys on 16 ja ääni on näytteistetty 44,1 kHz näytetaajuudella. Äänisignaalista otetaan siis 44100 näytettä sekunnissa ja näyte voi 16-bittisessä tallennuksessa saada 65 536 erilaista dynamiikka-arvoa. Tavallisella CD-levyllä ääni on kaksikanavaista eli stereoääntä. Minuutti stereoääntä CD-laadulla vie noin 10 megatavua tallennustilaa.

Kuva 1 Äänen digitointi (Masteringbox. n.d.).



Kuva 1 havainnollistaa äänen digitoitintapahtumaa. Vihreä käyrä kuvaa ääniaaltoa analogisessa muodossaan ja punaiset palkit ovat äänestä otettuja näytteitä. X-akseli on aika-akseli ja y-akseli on ääniaallon amplitudi eli voimakkuus. Oikealla sekä näytetaajuus että bittisyvyys ovat suurempia, jolloin äänen digitointi on tarkempaa.

2.3 Äänen pakkaus

Musiikin kulutuksen siirryttyä enemmän mobiiliksi ja tiedostomuotoiseksi, on tallennustilan ja verkkokaistan säästämiseksi kehitetty erilaisia äänen pakkausmenetelmiä. Terminologiakin on moninainen - puhutaan koodauksesta, koodekeista ja pakkausalgoritmeista. Pakkaustavat jaetaan yleisesti häviöttömiin (lossless) ja häviöllisiin (lossy) menetelmiin. Häviöttömässä pakkauksessa eli datakompressiossa, äänenlaatu ei heikkene, vaan pakattu ääni voidaan palauttaa alkuperäiseen muotoonsa. Häviöllisessä pakkauksessa eli datareduktiossa äänestä poistetaan peruuttamattomasti osia, joiden arvellaan olevan ihmisen kuuloaistille merkityksettömpiä. (Aho, 2006, s. 166-167) Häviöllisellä pakkauksella on mahdollista saavuttaa häviötöntä pienempi tiedostokoko, toki äänenlaadun kustannuksella. Häviöllisessä pakkauksessa tiedostokoon määrittää bittivirran nopeus (kbit/s). Mitä suurempi arvo, sen suurempi tiedostokoko ja parempi äänenlaatu. Esimerkiksi pakatun puhetiedoston bittivirran nopeus saattaa olla vain 6 kbit/s, kun hyvälaatuinen mp3-musiikkitiedosto voi olla 320 kbit/s.

Taulukko 1 Äänitiedostojen vertailua

Tiedostopääte	Pakkaus	Nimi	Käytössä
.wav	PCM-audio	Waveform Audio File Format	Ammattikäytössä
.aif, .aiff	PCM-audio	Audio Interchange File Format	Ammattikäytössä
.flac	lossless	Free Lossless Audio Codec	Bandcamp
.alac	lossless	Apple Lossless Audio Codec	Apple Music
.mp3	lossy	MPEG-1 Audio Layer III	Useita musiikkipalveluita
.ogg	lossy	Ogg Vorbis	Spotify
.mp4, m4a, .aac	lossy	Advanced Audio Coding	Apple Music
.wma*	lossy	Windows Media Audio	Windows
.opus	lossy	Opus	Zoom, WebEx, WhatsApp

* Wma-koodekista on useita versioita, myös lossless. Yleisesti tunnetuin on kuitenkin lossy.

Videoneuvotteluissa ja VoIP-puheluissa (Voice over Internet Protocol) ääni pakataan tiedonsiirron tehostamiseksi. Äänen pakkauksessa on perinteisesti käytetty hieman eri koodekkeja kuin musiikkitiedostoissa, joskin yhtäläisyyksiäkin löytyy, kuten esimerkiksi Applen FaceTimessa käyttämä AAC-LD. Lähtökohtaisesti nämä koodekit kuitenkin pakkaavat ääntä puheäänien erityispiirteisiin keskittyen. Skypein kehittämä SILK ja siitä edelleen Xiph.org -säätiön kehittämä Opus ovat yleisimpiä (Taulukko 1). Opus on alun perin suunniteltu puheen ja musiikin siirtämiseen verkon yli. Opus-koodekin eduiksi lasketaan sen hyvin lyhyt viive eli latenssi ja hyvä äänenlaatu. Opus on pärjännyt hyvin kuuntelutesteissä myös verrattaessa tavallisemmin musiikkikäytössä oleviin koodekkeihin, kuten mp3:een ja Ogg Vorbis:iin. (Xiph.Org, n.d.)

2.4 Yhteysprotokollat

Audiovisuaalinen kommunikointi verkoissa toimii tiettyjen protokollien mukaisesti. Aiemmin videoneuvottelulaitteissa käytettiin laajasti Kansainvälisen televiestintäliiton ITU:n (International Telecommunication Union) H.323 -protokollaa. H.323 määrittelee audiovisuaalisten yhteyksien protokollan pakettikytkentäiseen tiedonsiirtoon perustuvassa verkossa, kuten internetissä. (Gracely ym., 2000, s. 229) H.323-protokollaa käyttävät laitteet ja ohjelmistot pystyvät kommunikoimaan keskenään, valmistajasta riippumatta. (Ruippo, 2015, s. 53) H.323-protokollan rinnalle ja korvaajaksi on noussut internetyhteisöstä lähtöisin oleva SIP-protokolla (Session Initiation Protocol). SIP on tekstipohjainen protokolla ja muistuttaa internetissä yleisesti käytössä olevia HTTP:tä ja SMTP:tä. (SIP Forum, n.d.)

2.5 Verkon vaatimukset etäopetuksessa ja viive

Etäopetuksen onnistumisen ja äänen laadun kannalta olennaista on myös käytettävän verkkoyhteyden laatu ja tiedonsiirtokaistan leveys. Hidas ja/tai epätasainen verkkoyhteys luonnollisesti heikentää äänenlaatua. Etäopetustilannetta voisi mediavirran jatkuvuuden suhteen verrata suoratoistoon, joskin ilman puskurimuistin käyttöä. Suoratoisto vaatii tiedonsiirtokaistalta riittävästi leveyttä. Kaistanleveys kertoo, kuinka paljon tietoa voidaan siirtää tietyssä ajassa. (Sihvonen, Varga, 2006)

Etäopetusohjelmistojen vaatimukset verkkokaistan suhteen tuntuvat tänä päivänä kuitenkin melko vaatimattomilta. Esimerkiksi Zoom tarvitsee nopeutta maksimissaan vain noin 4 Mbps sisään ja ulos (Zoom, 2021). Toisaalta, matkapuhelinoperaattorit markkinoivat lasten käyttöön edelleen jopa alle 1 Mbps -liittymiä. Tiedonsiirto tapahtuu kuitenkin harvoin tasaisella nopeudella. Tästä syystä käytettävä verkkokaista on syytä olla suurempi kuin ohjelmistovalmistajien ilmoittama minimi.

Langallinen yhteys on langatonta vakaampi. Datapakettien välinen aikaviive (jitter) ja matkalla hävinneet datapaketit (packet loss) nostavat erityisesti langattoman verkon jitter-puskurin tarvetta. Tämä puolestaan lisää latenssia ja heikon langattoman yhteyden kanssa yhteys vaikuttaa tahmealta. (SonoBus, n.d.)

Yhteissoitto perustuu soittajien samanaikaisuuteen. Etäyhteissoiton suurin haaste on viive eli latenssi, joka muodostuu äänen siirtyessä verkon laitteiden läpi. Viivettä syntyy jo äänen kulkiessa ilmassa mikrofoniin. Vaikka ääni siirtyisi verkossa valonnopeudella, tulee soittajien välisen etäisyyden kasvaessa jossain vaiheessa fysiikan lait vastaan. Soittimesta ja musiikkityylistä riippuen siedettävän viiveen raja on yleensä maksimissaan 50 ms. (SonoBus, n.d.; Jamulus, n.d.)

Etäyhteissoittoa varten on kehitetty erilaisia mahdollisimman viiveettömiä järjestelmiä, joissa esimerkiksi kaiunkumousta ja puskurointia ei käytetä (ks. luvut 5.1.5 ja 5.1.6). (Ruippo, 2015, s. 107)

2.6 Etäopetusohjelmistot

Etäopetusta voidaan antaa synkronisin eli samanaikaisin, ja asynkronisin eli eriaikaisin menetelmin. Synkronisissa menetelmissä oppilas ja opettaja ovat reaaliaikaisessa vuorovaikutuksessa keskenään, esimerkiksi videoneuvottelussa. Asynkronisissa menetelmissä oppilas ja opettaja toimivat eriaikaisesti, esimerkiksi jonkin oppimisalustan tai vaikka sähköpostin välityksellä. (Salavuo, 2006, s. 71). Tässä opinnäytetyössä keskitytään pääasiassa synkronisiin menetelmiin ja alustoihin. Suosittuja etäopetusohjelmistoja ovat olleet Zoom, Microsoft Teams ja Google Meet. Etäopetusta voi järjestää myös siten, että käyttää pelkkää ääniyhteyttä. Tällaisia alustoja ovat esimerkiksi Sonobus, Cleanfeed ja Jamulus. Näiden alustojen etuina ovat hyvän äänenlaadun lisäksi liki viiveetön äänen siirto, ainakin jos verkkoyhteys on riittävän nopea. Videoyhteyden voi ottaa tarvittaessa jollain muulla ohjelmalla, mutta huulisynkronointi puuttuu.

Ohjelmistojen äänitoiminnot vaihtelevat monipuolisuudessaan. Osa ohjelmistoista on suunniteltu juuri musiikkikäyttöön, kuten Sonobus ja Jamulus. Verkkokokousjärjestelmät, kuten Microsoft Teams, Google Meet ja Zoom optimoidaan kuitenkin puheäänelle. Koska ihmisäänen selkeyden kannalta tärkeimmät taajuudet ovat 1000 – 4000 Hz välillä, suodattavat verkkokokousjärjestelmät äänestä automaattisesti korkeat ja matalat taajuudet tarpeettomina pois. Ohjelmissa on tavallisesti oletustoimintoina myös automaattinen mikrofonitason säätö sekä taustamelun vaimennus. (Ruippo, 2021) Musiikin taajuussisältö on huomattavasti puheääntä laajempi, joten korkeiden ja matalien äänien suodatus vääristää instrumenttien ääntä. Automaattinen tasonsäätö puolestaan vääristää soiton dynamiikkaa. Taustamelun vaimennus saattaa ”luulla” musiikkia taustameluksi. Nämä toiminnot siis eivät ole musiikin opetuskäytössä kovinkaan käytännöllisiä.

Etäopetuskäytössä olevia ohjelmia:

- **Cleanfeed** on haastattelu- ja podcast-käyttöön, sekä musiikin tuotantotarkoituksiin suunniteltu selainpohjainen ohjelma. Cleanfeedin ydintoimintona on hyvälaatuisen äänen lähettäminen verkon yli ja moniraitatallennus. (Cleanfeed, n.d.)
- **FaceTime** on Applen videopuhelusovellus, joka on kytketty AppleID-tunnukseen. Ohjelma tulee iOS- ja macOS -käyttöjärjestelmien mukana ja on saatavilla ainoastaan Applen laitteisiin. (Apple, n.d.)

- **Google Meet** on Googlen verkkokokousohjelma, joka on Googlen Hangouts -palvelun uusittu versio. Google Meet julkaistiin vuonna 2017. Alun perin ohjelma oli suunnattu yrityskäyttöön, mutta on nykyään myös kuluttajakäytössä. (Brown, 2020)
- **Jamulus** on saksalaisen Volker Fischerin tekemä avoimen lähdekoodin ohjelma, joka on suunniteltu yhteissoittoon verkon yli hyvälaatuisen ja viiveettömän äänen kanssa. Ohjelman toiminta perustuu client-server -malliin. Käyttäjien tietokoneilla olevat client-ohjelmat ovat yhteydessä toisaalla sijaitsevaan dedikoituun Jamulus-palvelimeen, joka yhdistää käyttäjien ääni-informaation ja lähettää sen takaisin käyttäjille. (Jamulus, n.d.)
- **Jitsi Meet** on Jitsin avoimen lähdekoodin videokonferenssisovellus. Ohjelma on ilmainen eikä vaadi rekisteröitymistä. Tietokoneella Jitsi Meet toimii selaimessa. Android- ja iOS-mobiililaitteille löytyy applikaatio. (Jitsi, n.d.)
- **Skype** on videopuhelusovellus, joka julkaistiin ensimmäisen kerran jo vuonna 2003. Nykyisin Skype on osa Microsoftin tuoteperhettä. 2010-luvulla Skype korvasi Microsoftin Live Messenger ja Lync -pikaviestin- ja puhelinsovellukset. Skypen muita toimintoja ovat esimerkiksi tiedostojen ja ruudun jakaminen. (Cowling, 2016)
- **SonoBus** on ilmainen avoimen lähdekoodin ohjelma, joka on tehty korkealaatuisen äänen reaaliaikaiseen jakamiseen verkon yli. Ohjelma on suunniteltu vertaisverkkokäyttöön (peer-to-peer) ja sen tavoitteena on mahdollisimman lyhyt latenssi, jopa niin, että yhteissoitto olisi ohjelman avulla mahdollista. Ohjelmasta on olemassa niin sanottu standalone -versio sekä DAW -ympäristöön (Digital Audio Workstation) liitettävä plug-in -versio. Plug-in -versio toimii Windowsilla VST- ja AAX -rajapinnoilla, macOS:lle on tarjolla myös AU-rajapinta. (SonoBus, n.d.)
- **Teams** on Microsoftin kokous- ja ryhmätyösovellus, joka on tullut markkinoille vuonna 2017. Teams on integroitu vahvasti Microsoftin Office365 -pilvipalveluun. (Curry, 2019)

- **WebEx** on Ciscon hyöty- ja yhteistyösovelluksista koostuva pilvipalvelu, johon kuuluu myös videokonferenssisovellus. Ohjelman ilmaisversiossa videopuheluiden kesto on rajoitettu 40 minuuttiin. Tämä rajoitus poistuu maksullisessa versiossa. (Reuben, 2021)
- **WhatsApp** on Jan Koumin ja Brian Actonin kehittämä ja nykyisin Facebookin omistama pikaviestipalvelu, jolla voi myös soittaa videopuheluita. WhatsApp suunniteltiin vaihtoehdoksi tekstiviestille ja palvelun käyttö on edelleen sidottu puhelinnumeroon. Laajasti levinneen WhatsAppin erityispiirteenä on erilaisten medioiden, kuten kuvien ja videoiden helppo jakaminen. (WhatsApp, n.d.)
- **Zoom** on yhdysvaltalaisen Zoom Video Communications, Inc. -yhtiön vuonna 2013 julkaisema ohjelma. Zoomista on tullut nopeasti suosittu ohjelmisto musiikin etäopetuksessa, sillä Zoomissa yhdistyvät video ja hyvälaatuinen ääni. Zoom tarjoaa kilpailijoitaan enemmän äänitoimintoja ja esimerkiksi stereofonian. (Ruippo, 2021)

2.7 Etäopetuslaitteisto

Etäopetuslaitteistoon kuuluu verkossa oleva tietokone tai mobiililaitte ja siihen liitettävät lisälaitteet. Yksinkertaisimmillaan opetusta voi järjestää pelkän mobiililaitteen avulla. Tällöin äänenlaatu on kuitenkin vain niin hyvä kuin mobiililaitteen mikrofoni ja kaiutin antavat myötä. Tietokoneeseen on liitettävissä mobiililaitteita enemmän lisälaitteita ja esimerkiksi Zoomin työpöytäversio on äänitoiminnoiltaan mobiiliversiota monipuolisempi. Tavallisia lisälaitteita musiikinopetuksessa ovat yleensä ulkoinen mikrofoni, ulkoinen äänikortti, kaiuttimet ja kuulokkeet. Laadukkaiden kuulokkeiden tai kaiuttimien käyttö etäopetustilanteessa mahdollistaa miellyttävämmän kuuntelukokemuksen. Muita lisälaitteita voivat olla myös suoraan tietokoneeseen kiinnitettävät MIDI-ohjaimet, kuten koskettimistot. Kannettava tietokone voi olla hankalampi sijoittaa hyvän kuvakulman löytämiseksi. Tällöin auttaa USB-porttiin liitettävä webkamera. Lisäksi tietokoneessa voi olla kiinni esimerkiksi koskettimisto. (Ruippo, 2021)

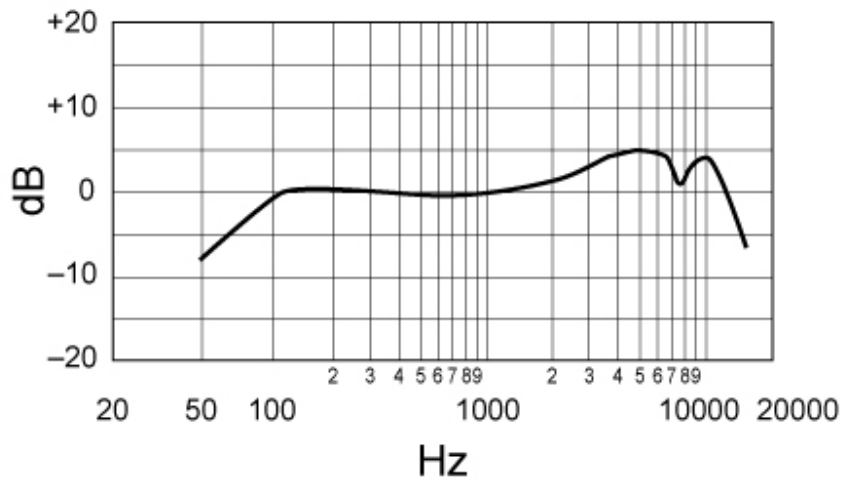
2.8 Mikrofonit

Ulkoinen mikrofoni voi olla tavallinen äänitys- tai äänentoistokäyttöön suunniteltu mikrofoni, joka liitetään tietokoneen äänikorttiin. Suoraan tietokoneen USB-porttiin liitettävä mikrofoni on toinen vaihtoehto. Monet USB-mikrofonit saa adapterein kiinni myös mobiililaitteisiin, mutta tällöin tulee varmistaa, että laite suostuu käyttämään ulkoista mikrofontia etäopetusalustan kanssa. USB-mikrofoneista on tullut suosittuja helppokäyttöisyytensä ja hintaan nähden hyvien ääniominaisuuksiensa vuoksi. USB-mikrofoni toimii itse ulkoisena äänikorttina ja tätä voidaan käytettävyyden kannalta pitää etuna verrattaessa mikrofoni ja äänikortti -yhdistelmään. (Gideon, 2021)

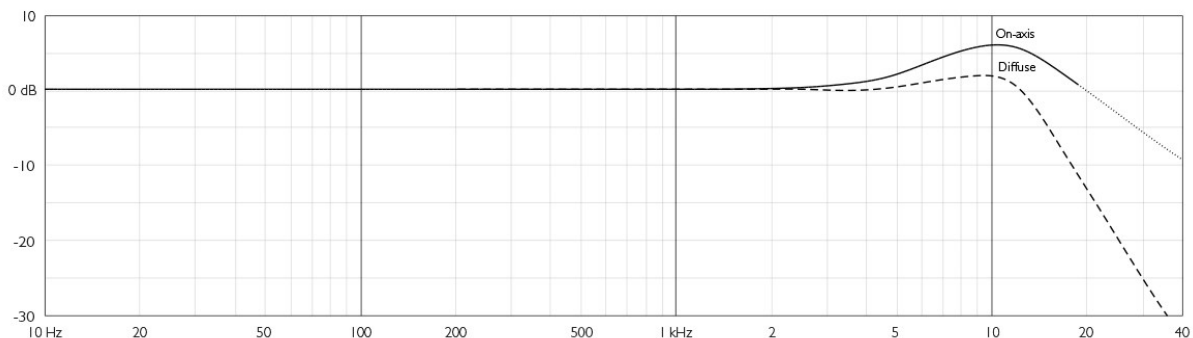
2.8.1 Mikrofonityypit

Mikrofoneja on monenlaisia ja niitä voidaan jaotella ja luokitella eri tavoin. Sähkötekniisten ominaisuuksien mukaisen jaottelun mukaan yleisimmin mikrofoneista käytössä ovat dynaamiset ja kondensaattorimikrofonit (Laaksonen, 2013, s. 236). Dynaamiset mikrofonit muuttavat äänen sähköksi mikrofoni-kalvon ja sähköä johtavan kelan avulla. Kondensaattorimikrofonissa ääni muuttuu sähköksi kalvon ja elektrodin muodostaman kondensaattorin kautta. Yleisellä tasolla dynaamisten mikrofonien etuina pidetään kestävyyttä ja epäherkkyttä akustiselle kierrolle. Taajuusvasteeltaan ne ovat yleensä epätasaisempia kuin kondensaattorimikrofonit, jotka puolestaan ovat hyvin herkkiä ja soveltuvat hyvin äänitystarkoituksiin hiljaisimmillekin äänilähteille. Kondensaattorimikrofonit tarvitsevat toimiakseen ulkoisen jännitelähteen eli niin sanotun phantom-jännitteen, joka on tavallisesti 48 V. Tätä phantom-jännitettä syötetään mikrofoniin yleensä esivahvistimen kautta. (Mäkelä, 2002-2003, s. 100-103) Markkinoiden USB-mikrofonit ovat ääniominaisuuksiltaan isokalvoisten kondensaattorimikrofonien kaltaisia

Kuva 2 Dynaamisen Shure SM58 -mikrofonin taajuusvaste (Shure, n.d.).



Kuva 3 DPA 4006 -kondensaattorimikrofonin taajuusvaste (DPA Microphones, n.d.).



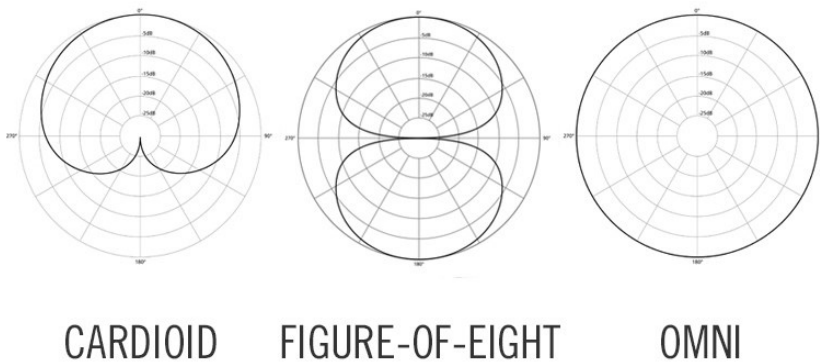
Kuvissa 1 ja 2 on esimerkkinä nähtävissä dynaamisen ja kondensaattorimikrofonin taajuusvasteiden eroavaisuuksia. Kondensaattorimikrofonin taajuusvaste on tasaisempi aivan kuulon alueen ääripäihin asti.

2.8.2 Suuntakuviot

Mikrofonin suuntakuviot kertovat mikrofonin herkkyydestä suhteessa äänen kulkusuuntaan. Suuntakuvioita on monenlaisia, mutta perustyyppisiä on kolme: pallokuvio, herttakuvio eli kardioidi sekä kahdeksikko. Pallokuvioinen mikrofoni (omnidirectional) on teoriassa yhtä herkkä kaikista suunnista tuleville äänille. Pallokuvioisen mikrofonin kanssa toimittaessa mikrofonin suuntauksella ei siis ole juuri merkitystä. Käytännössä pallokuvioinenkin mikrofoni on kuitenkin

suuntaava korkeilla taajuuksilla. Herttakuvioinen mikrofoni (unidirectional) on yleisin suuntakuvio ja se on herkkä edestä saapuvalla äänelle. Herttakuvioista mikrofonia tiukemmin suuntaavat super- ja hyperherttakuvioiset mikrofonit. Kahdeksikkokuvio (figure-of-eight, bidirectional) on yhtä herkkä edestä ja takaa tuleville äänille, mutta vaimentaa tehokkaasti sivuilta tulevat äänet. (Laaksonen, 2013, s. 233)

Kuva 4 Suuntakuviot (Hensall, M. 2015).



Markkinoilla olevien USB-mikrofonien suuntakuvioalitsimesta saattaa löytyä myös stereovalinta. Tällöin mikrofonissa on kaksi tai useampia kapselia. Stereovalintaa käytettäessä on hyvä huomata, että verkkokaistantarve äänelle tuplaantuu. Kaikki videoneuvotteluohjelmistot eivät pysty lähettämään stereoääntä.

2.8.3 Mikrofonitekniikat

Mikrofonien asettelu äänitystilaan ja suhteessa äänilähteeseen on studiotyössä lähes oma taiteenlajinsa. Etäopetuksessa mikrofonin sijoittelulla on iso vaikutus kuulokuvaan. Mitä kauempana mikrofoni on äänilähteestä, sitä enemmän ääneen tulee mukaan tilan akustiikkaa ja sen etäisemmältä se kuulostaa. Lähiäänivaikutus eli niin sanottu proximity-efekti ilmenee, kun mikrofoniiin soitetaan ja lauletaan hyvin läheltä. Tällöin matalat taajuudet korostuvat. (Neumann, n.d.)

Mikrofoneihin saatavista lisätarvikkeista mainittakoon puhallussuoja ja kehtoripustin. Puhallussuoja eli niin sanottu pop-filtteri suodattaa erityisesti ihmisäänen kovien konsonanttien runsasta hetkellistä ilmavirtaa ja niistä aiheutuvia poksahduksia. Pop-filtteri asetetaan laulajan ja

mikrofonin väliin ja se myös suojaa mikrofonia laulajan hengityksen mukana kulkeutuvalta kosteudelta. (Laaksonen, 2013, s. 259) Kehtoripustin on mikrofonipidike, jossa mikrofoni ”kelluu” kuminauhojen varassa. Joustava rakenne eristää mikrofonitelinettä pitkin tulevat runkoäänet, joita syntyy esimerkiksi soittajan jalkojen tömistelystä. (Mäkelä, 2003, s. 47)

Kuva 5 Kehtoripustin (Neumann, n.d.).



Edellisessä aluvussa (2.8.2) mainittiin joidenkin USB-mikrofonien stereomahdollisuus. Stereofoniaa voi harrastaa myös kahdella monofonisella mikrofonilla. Stereomikrofonitekniikat liittyvät äänityöhön olennaisesti ja niiden tuntemus monipuolistaa ymmärrystä äänikuvasta. (Aho, 2006, s. 118-119) Tähän työhön ne ovat kuitenkin liian laaja kokonaisuus huomioitavaksi.

2.9 Äänikortit

Äänikortti on tietokoneeseen kiinnitettävä kortti, joka tuottaa äänet tietokoneen ääniulostuloon sekä lukee äänisisäänmenoon tuotetut äänet. Lähes kaikki markkinoilla olevat tietokoneet sisältävät niin sanotun integroidun äänikortin eli tietokoneen sisäisen äänikortin. Ulkoiset äänikortit (audio interface) ovat lisälaitteita, joilla tietokoneen ääniominaisuuksia saa laajennettua. Ulkoisen äänikortin avulla tietokoneeseen on mahdollista kiinnittää laajempi kattaus mikrofoneja ja kaiuttimia sekä esimerkiksi syöttää kondensaattorimikrofoneille niiden tarvitsemaa phantom-jännitettä. (Laaksonen, 2016, s. 380)

2.10 Kuuntelu

Kuuntelu voidaan etäopetustilanteessa järjestää kaiuttimilla tai kuulokkeilla. Tietokoneiden ja mobiililaitteiden integroidut kaiuttimet ovat taajuusvasteeltaan varsin rajoittuneita.

Mobiililaitteenkin integroitu äänipiiri antaa kuitenkin kuulokelähtöön laadukasta ääntä.

Kaiuttimilla ja isommilla äänenpaineilla akustinen kierto saattaa muodostua ongelmaksi.

Kuulokkeilla tätä ongelmaa ei ole. (Ruippo, 2021)

3 Oppilaitoksen etäopetusteknologian tarve

Musiikin etäopetuksen yksi erityispiirre on tarve laadukkaalle äänelle. Etäopetukseen soveltuvien ohjelmien ja laitteiston määrä on moninainen. Etäopetusta järjestetään pitkälti äänitykseen ja äänentoistoon suunnitelluilla laitteistoilla sekä kokoussovelluksilla, joskin musiikin erityispiirteet huomioivia sovellutuksia on myös olemassa. Etäopetus ei kuitenkaan ole äänittämistä tai äänentoistoa. Yhtäläisyyksiä löytyy, mutta tarpeet ovat erilaiset. Esimerkiksi pianonsoitonopettajan puheen ja pianon äänen pitäisi molempien kuulua oppilaalle hyvin. Etäopetustilanteessa ei kenties ole mielekäästä, saati mahdollista, mikittää erikseen sekä pianoa että puhetta. Lisäksi on syytä muistaa, että soitonopettajat ja -oppilaat eivät yleensä ole musiikkiteknologian harrastajia, jotka osaisivat hyödyntää mikrofonitekniikoita ja esimerkiksi mikrofoniin vaihdettavia suuntakuvioita. Tällöin laitteiston ja ohjelmiston käytettävyyden nousee tärkeään asemaan.

Teknisesti äänen kanssa on etäopetustilanteessa kuitenkin mahdollista päästä hyvään lopputulokseen melko yksinkertaisin ratkaisuin. Se vaatii oikeanlaisen laitteiston, optimoidun ohjelmiston ja hyvän verkkoyhteyden. Opinnäytetyön yhtenä tarkoituksena on tarkastella näitä seikkoja sekä saada musiikkioppilaitokselle lisää tietoutta etäopetuksen teknisistä mahdollisuuksista ja käytettävyydestä. Verkkoyhteys on suoraviivaisin asia saada kuntoon, mutta ohjelmiston ja laitteiston suhteen löytyy paljon vaihtelua. Yhtenä olennaisena osana työtä ovat ohjelmistokatsaus ja USB-mikrofonitestit, joilla pyrittiin selvittämään ohjelmisto- ja mikrofoniavalinnan merkitystä äänenlaatuun etäopetuksessa.

3.1 Taustaa

Musiikkia on opetettu etänä 90-luvun loppupuolelta saakka. Aluksi tarpeet olivat esimerkiksi saada syrjäseuduille muodollisesti pätevää musiikinopetusta tai ulkomaisen mestarin mestarikurssin järjestäminen.

Vielä 2000-luvun ensimmäisellä vuosikymmenellä erilliset videoneuvottelulaitteistot, koodekit, olivat yleisiä. Ne olivat käteviä: yhteen laitteeseen oli pakattu kaikki videoneuvottelussa tarvittavat osat. (Ruippo, 2006) Laitteistojen hinta tosin oli korkea. Erillisiä videoneuvottelujärjestelmiä on edelleen olemassa, mutta nykyään mobiililaitteet ja tietokoneet ovat yleisempiä. Niiden

ominaisuudet ovat kätevästi laajennettavissa lisälaitteiden, kuten kameroiden ja mikrofoniin, avulla. Tässä työssä mobiililaitteiden ja nykyaikaisten kannettavien tietokoneiden integroitujen webkameroiden ajatellaan tuottavan riittävän laadukkaan kuvayhteyden etäopetustilanteeseen.

Koronavirusepidemia siirsi maaliskuussa 2020 käytännössä kaiken musiikin opetuksen verkkoon yhdessä viikossa. Oppilaitokset joutuivat tulemaan aluksi toimeen puutteellisella laitteistolla. Omasta kokemuksesta tiedän, että pienellä musiikkioppilaitoksella saattoi ennen vuotta 2020 olla käytössään esimerkiksi vain pari oppilashallinnon tietokonetta.

Toimeksiantajana toimivassa oppilaitoksessa heräsi yllättävässä tilanteessa monia kysymyksiä. Taloushallinnossa mietittiin kannattaako etäopetukseen hankkia erillistä ohjelmistoa, kun toimistosovelluslisenssi ja sen myötä yksi kokousovellus oli jo hankittu. Sovellusten äänenlaadusta käytiin paljon keskustelua ja parasta ratkaisua etsittiin. Tietosuoja- ja tietoturvasasiat mietityttivät opettajia, oppilaita ja oppilaiden vanhempia. Suurin kompastuskivi oli kuitenkin kunnollinen laitteisto, jota ei ollut opettajilla eikä varsinkaan oppilailla. Tästä voi huomata, että mitään suunnitelmaa, suuntaviivoja, saati laitteita pandemian ensimmäisen aallon etäopetukseen ei oppilaitoksessa ollut. Tuli kiire hankkia laitteita, parannella yhteyksiä ja kouluttaa henkilöstöä.

3.2 Mahdollisia laitteistokombinaatioita

Kuten edellä käy selväksi, mahdollisia laitteistokombinaatioita musiikin etäopetukseen on useita. Toimeksiantajana toimivassa oppilaitoksessa on musiikkiteknologiaopintojen myötä tehty investointeja myös mikrofoneihin ja ensi alkuun parhaat yhdistelmät saatiinkin käyttämällä äänitysmikrofoneja ja ulkoisia äänikortteja. Äänenlaadun kannalta varteenotettavia laitteistokombinaatioita oli lähtökohtaisesti kolmenlaisia:

1. Mikrofoni – ulkoinen äänikortti – tietokone – kaiuttimet (ja / tai kuulokkeet)
2. USB-mikrofoni – tietokone – kaiuttimet (ja / tai kuulokkeet)
3. Mikrofoni – mobiililaitte – kaiuttimet (tai kuulokkeet)

Laitteistokombinaation valintaan vaikuttavia tekijöitä voivat olla kustannukset, käytettävyys, käyttötottumukset ja mahdollinen jo olemassa oleva kalusto. USB-mikrofoni toimii tavallaan myös yksinkertaisena ulkoisena äänikorttina, jolloin säästöä saattaa tulla kustannuksissa. Vähemmän

musiikkiteknologiaa käyttävälle myös käytettävyys on parempi: kaapeleita ja kytkentöjä tarvitaan vähemmän. Vannoutuneita mobiililaitteiden käyttäjiäkin on. Esimerkiksi Applen iPad on ollut suosittu laite myös musiikin etäopetuksessa. Ulkoisia mikrofoneja on saatavilla mobiililaitteille ja kuuntelua voi mobiililaitteenkin kanssa parantaa esimerkiksi aktiivisilla lähikenttämonitoreilla tai laadukkailla kuulokkeilla.

3.3 Soveltuvan etäopetusteknologian etsiminen

Käytettävyyden, äänenlaadun ja kustannustehokkuuden puolesta mielenkiinto laitteistokombinaatioksi on ollut USB-mikrofonin, kannettavan tietokoneen, kaiuttimien ja kuulokkeiden yhdistelmä. Tätä työtä varten tehtiin sarja USB-mikrofonitestejä, joilla pyrittiin selvittämään mikrofoniavalinnan merkitystä äänenlaatuun etäopetuksessa. Studiotyössä Instrumentteja äänitettäessä on mikrofoniavalinnalla suuri merkitys äänenlaadun ja sointiväriin kannalta. Äänitettäessä myös äänitettävä instrumentti monesti ohjaa mikrofoniavalintaan. Mikrofonin valinta on valittava käyttötarkoituksen mukaan: on luonnollisesti eri asia äänittää bassorumpua ja piccolohuilua. USB-mikrofonit ovat luonteeltaan kuitenkin yleismikrofoneja ja monet muistuttavat ominaisuuksiltaan ja ulkonäöltään isokalvoisia kondensaattorimikrofoneja. Osa USB-mikrofoneista markkinoidaan vahvasti podcastien ja YouTube-videoiden tekoon ja osaa taas äänityskäyttöön kotistudioon. Kokousmikrofonit ovat myös USB-mikrofoneja, mutta niitä ei tässä työssä huomioida.

Äänitysmikrofonien tapaan myös USB-mikrofonimalleja on markkinoilla lukuisa määrä. Testejä varten sain lainaan kahdeksan eri valmistajan USB-mikrofonia ja pääsin testaamaan niitä ammattimaiseen äänistudioon.

Tutkin myös ohjelmistoja. Ohjelmien äänitoimintoja tutkimalla pyrin selvittämään oppilaitokselle soveltuvat ohjelmistot etäopetukseen. Kriteereinä olivat äänen laatu, kustannukset ja käytettävyys. Kuten tässäkin työssä on jo aiemmin todettu, kokoussovellukset on suunniteltu puheäänelle. Musiikkikäyttöön suunniteltuja sovelluksia on, mutta kuvayhteyttä ei välttämättä ole. Pedagogisesti musiikin ja soiton opetus on kuitenkin monin paikoin mielekkäämpää kuvayhteyden kanssa, varsinkin nuorempien oppilaiden kanssa.

4 Katsaus etäopetusteknologiaan

Tutustuin tätä työtä varten kahdeksaan n. 100–250 € -hintaluokan USB-mikrofoniin erityisesti etäopetuksen ja musiikkioppilaitostoiminnan (esimerkiksi oppilaskonserttien suoratoistot) näkökulmasta ja tein myös testiäänityksiä. Testin tulokset ovat näin sovellettavissa myös kotistudioon tai muuhun pienimuotoiseen äänitystoimintaan, joka koostuu lähinnä yksittäisten raitojen tallennuksesta. Kävin huolellisesti läpi mikrofoniin toiminnot ja erityispiirteet. Mietin mikrofoniin yleistä käytettävyyttä sekä soveltuvuutta erilaisiin opetustilanteisiin. Mikrofonitestien lisäksi tein katsauksen etäopetuksessa käytettyjen ohjelmistojen ääniominaisuuksiin.

4.1 USB-mikrofonitestit

Testiäänityksissä käytin testi-instrumentteina taajuusalueiden ääripäissä operoivia soittimia kontrabassoa ja poikkihuilua sekä pianoa. Etäopetuksessa ne ovat osoittautuneet hyvän äänenlaadun kannalta hankaliksi instrumenteiksi. Laitteistolle ja ohjelmille vaativaa toistettavaa ovat myös lyömäsoittinten laaja dynamiikka ja voimakkaat transienttiäänit sekä toisaalta hiljaiset äänilähteet, kuten kantele. Testasin mikrofoneja myös näiden soittimien sekä puheäänien kanssa.

Testatut mikrofonit:

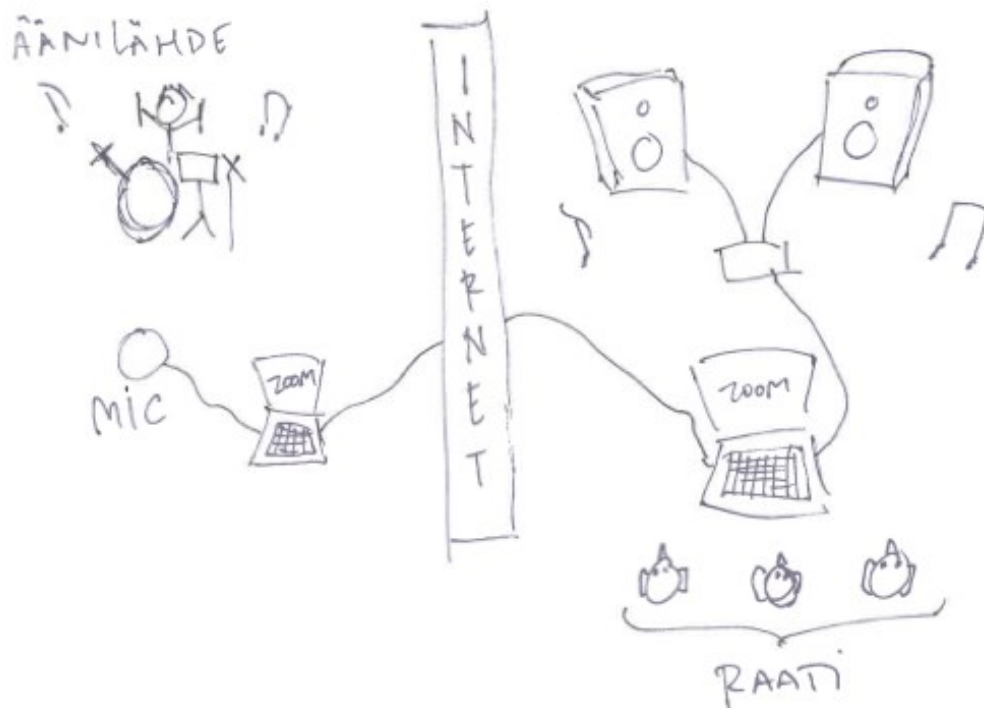
- AKG Lyra
- Audio-Technica AT2020USB+
- Blue Yeti
- Eikon CM14USB
- Mackie EleMent Carbon
- Presonus Revelator
- Røde NT-USB
- Samson G-Track Pro

Kuva 6 Testatut mikrofonit



Kuuntelutestien testiryhmässä minulla oli apuna kaksi äänialan ammattilaista ja testitapana hieman sovellettu AB-testaus. Äänitimme kaikkia mainittuja instrumentteja kaikilla mikrofoneilla sekä suoraan tietokoneelle että Zoomin, Teamsin ja Google Meetin läpi. Testiäänityksissä käytin ohjelmistojen työpöytä- ja selainversioita, mutta liitettävyyttä ja toimintaa mobiililaitteiden kanssa en testannut. Tasaisen laadun varmistamiseksi käytimme osassa testejä valmiita äänitteitä (CD-levy), joita soitimme mikrofoneille laadukkaiden lähikenttämonitorien (Genelec) läpi äänistudiossa. Pianon, puheen ja lyömäsoitinten kohdalla halusimme testata myös etäisyyden vaikutusta, eri suuntakuvioita ja proximity- eli lähiäänivaikutusta. Teimme havaintoja myös stereomikrofonien stereokuvasta ja tilantunnon välittymisestä. Verkkoyhteys oli musiikkioppilaitoksen langaton yhteys, jonka nopeudeksi operaattori ilmoittaa 100 / 100.

Kuva 7 Testitapahtuma



Kuvassa 6 on esimerkki testitapahtumasta. Mikrofonit taltioi etälustan läpi äänilähdettä ja raati kuuntelee toisessa tilassa verkon toisella puolella. Toistava kone myös äänitti verkon yli tulevan äänen kuuntelun toisintamista varten.

Osan instrumenteista äänitin myös Zoomin eri asetuksin. Halusin todentaa musiikkikäyttöä varten tehtyjen asetusten vaikutusta. USB-mikrofoneja vertasimme myös äänityskäyttöön suunniteltuun laadukkaaseen isokalvoiseen Neumann U89 -kondensaattorimikrofoniin. Oli mielenkiintoista tietää, millainen vaikutus äänenlaatuun on laadukkaalla äänitysmikrofonilla. Toisena verrokkina oli kannettavan tietokoneen huonolaatuisiksi oletettu integroitu mikrofoni.

4.2 Ohjelmistokatsaus

Ohjelmistokatsauksessa keskityin synkronisiin järjestelmiin. Tutkin yleisellä tasolla ohjelmistovalmistajien antamia määrittämiä ja osan kanssa tein käytännön kokeiluja. Katsaukseen sisältyneet sovellukset olivat:

- Cleanfeed
- FaceTime
- Google Meet
- Jamulus
- Jitsi Meet
- Skype
- Sonobus
- Teams
- WebEx
- WhatsApp
- Zoom

USB-mikrofoneja käytin Zoomin, Teamsin ja Meetin kanssa, sillä ne olivat työyhteisössäni useimmin käytössä. Muut sovellukset kävin läpi yhden mikrofonin kanssa ja tutustuin niiden ääniominaisuuksiin ja käytettävyyteen.

5 Johtopäätökset ja havainnot

Ohjelmistoista oli helppo haarukoida musiikkikäyttöön parhaiten soveltuvat ohjelmistot. Äänitoiminnot olivat kaikissa ohjelmissa helposti löydettävissä ja jo niiden perusteella oli mahdollista tehdä alustavia arvioita ohjelmien soveltuvuudesta musiikin etäopetukseen. USB-mikrofoneista sen sijaan ei yksiselitteisesti ollut löydettävissä parasta mikrofonia. Mikrofonien lisätoiminnot laajentavat niiden käytettävyyttä, joka on otettava huomioon USB-mikrofoneja arvioitaessa.

5.1 Havainnot ohjelmistoista

Taulukko 2 Ohjelmistojen vertailua

Ohjelmisto	Toiminta tietokoneella	Äänikoodekki	Ääni / kuva	Yleistä
Cleanfeed	selainpohjainen	Opus	vain ääni	ilmainen + maksullinen pro-versio
FaceTime	applikaatio	AAC-ELD	ääni + kuva	ilmainen, kytketty Applen laitteisiin
Google Meet	selainpohjainen	Opus	ääni + kuva	ilmainen, kytketty Google-tiliin
Jamulus	applikaatio	Opus	vain ääni	ilmainen, open source
Jitsi Meet	selainpohjainen	Opus	ääni + kuva	ilmainen, open source
Skype	applikaatio	SILK, SATIN	ääni + kuva	ilmainen
SonoBus	applikaatio	Opus	vain ääni	ilmainen, open source
Teams	selainversio + applikaatio	SILK, SATIN	ääni + kuva	ilmainen, kytketty Microsoft-tiliin
WebEx	applikaatio	Opus	ääni + kuva	ilmainen + erilaisia maksullisia versioita
WhatsApp	applikaatio	Opus	ääni + kuva	ilmainen, kytketty puhelinnumeroon
Zoom	selainversio + applikaatio	Opus, SILK	ääni + kuva	ilmainen + maksullinen pro-versio

Osa ohjelmista on selainpohjaisia, osa omia applikaatioitaan. Joistakin ohjelmista, kuten Teamsista ja Zoomista on sekä selainversio, että oma applikaationsa (Taulukko 2).

Videoneuvotteluohjelmista ainoastaan Zoomissa on otettu huomioon myös musiikin erityispiirteet. Musiikkikäyttöön suunnitellut ohjelmistot, kuten Cleanfeed, Jamulus ja Sonobus ovat toimivia, mutta kuvayhteyden puuttuminen on opetustilanteessa isohko puute. Käyn tässä

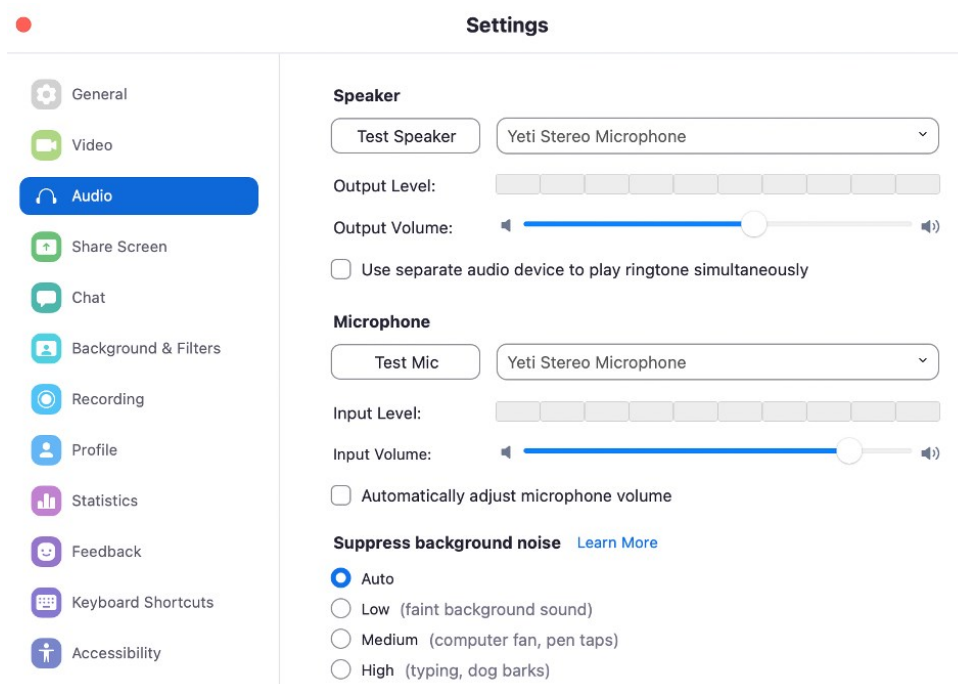
luvussa läpi joidenkin ohjelmistojen ääniominaisuuksia. Kaikkien ohjelmien toimintoja ei ole mielekästä tähän purkaa, sillä usean ohjelman äänitoiminnot ovat hyvin yksinkertaiset ja sisältävät ainoastaan äänilähteen valinnan ja mahdollisen taustamelun vaimennuksen.

5.1.1 Zoom

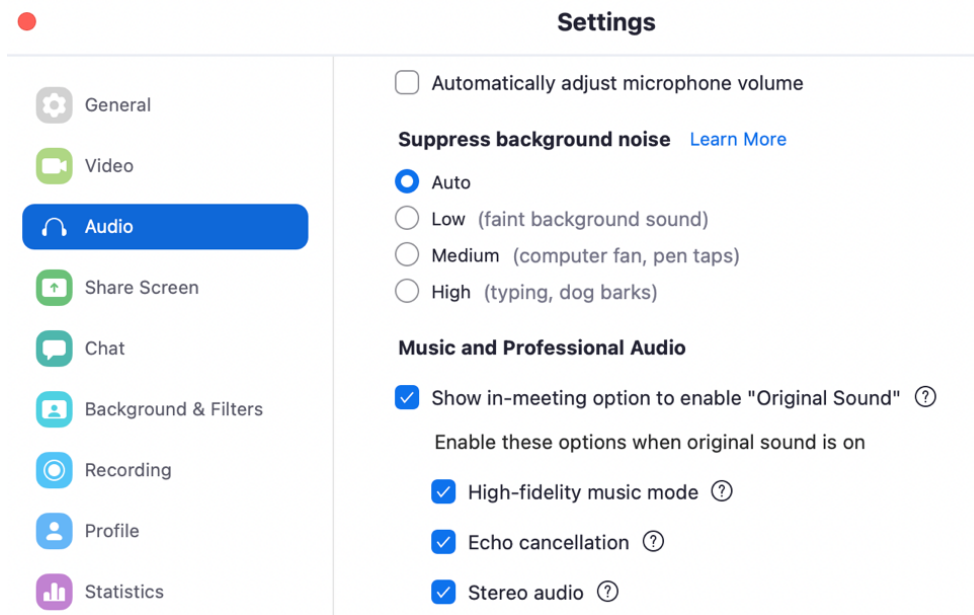
Zoomin **Original Sound** -toiminto parantaa äänenlaatua musiikinopetuksessa merkittävästi. Toiminto ohittaa päällä ollessaan automaattisen tasosäädön, taustahälyn vaimennuksen sekä poistaa matalien äänten suodatuksen. Keskustelussa Original Sound kannattaa ottaa pois, sillä automaattinen tason säätö ja taustakohinan vaimennus selkeyttää puhetta. Parhaan äänenlaadun tuottava **High Fidelity Music Mode**, joka kaksinkertaistaa äänikaistan bittivirran, on saatavilla vain työpöytäversiossa. Siitä on hyötyä etenkin ulkoisen mikrofoniin kanssa.

Ohjelmisto päivittyy tiheään ja äänitoimintoihin on tullut kuluneen vuoden aikana useita parannuksia. Zoomin maksuton lisenssi on joiltain toiminnoiltaan rajoitettu, mutta äänitoiminnot ovat samat. Työpöytä-, mobiili- ja selainversioissa on eroja äänitoimintojen suhteen. Tätä kirjoittaessa mobiiliversioista löytyy Original Sound -toiminto, mutta ei High Fidelity Music Modea. Selainversiosta ei löydy säädettäviä äänitoimintoja.

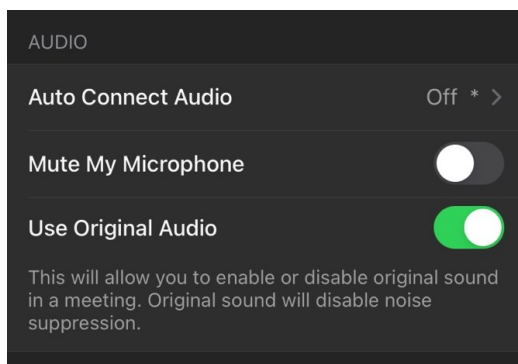
Kuva 8 Zoomin työpöytäversion ääniasetuksia 1 (versio 5.6.4)



Kuva 9 Zoomin työpöytäversion ääniasetuksia 2 (versio 5.6.4)



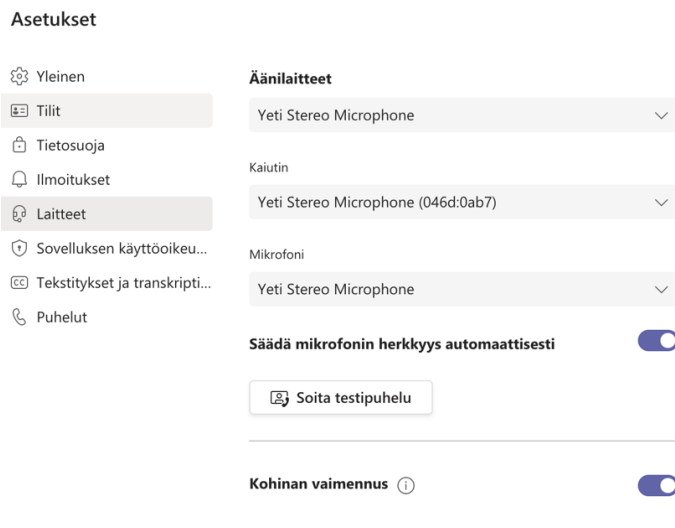
Kuva 10 Zoomin iOS-mobiiliversion ääniasetukset (versio 5.6.4)



5.1.2 Teams

Teams on laajalti käytössä myös etäopetuksessa, johtuen luultavasti sen vahvasta integraatiosta Office365-pilvipalveluun ja Microsoft Office-tuoteperheeseen. Äänipuolella Teams tarjoaa tätä kirjoittaessa niukalti toimintoja. Työpöytäversiossa automaattinen tasonsäätö ja taustamelun suodatus on mahdollista kytkeä pois päältä. Tätä Microsoft suosittelee käytettäväksi, mikäli käytössä on laadukkaita mikrofoneja ja meluton ympäristö. (Microsoft Teams, 2021).

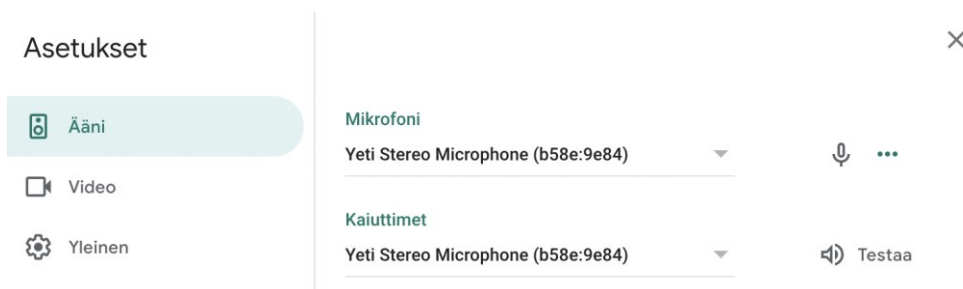
Kuva 11 Microsoft Teamsin macOS-version ääniasetukset (versio 1.4.00.22265)



5.1.3 Meet

Alun perin yrityskäyttöön suunniteltu Meet ei tarjoa ilmaisversiossaan mitään äänitoimintoja. Maksullisessa tuotteessa on mukana taustamelun suodatus. Selainpohjaisesta Meetistä on myös mobiiliversio.

Kuva 12 Google Meet -selainversion äänitoiminnot



5.1.4 Cleanfeed

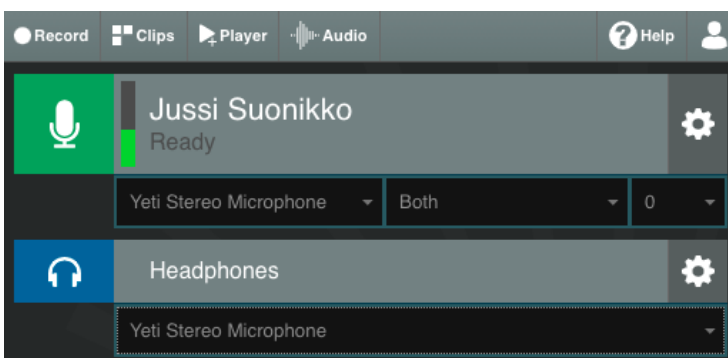
Valmistaja markkinoi ohjelmaa verkkosivuillaan ”studiona verkossa”, ja ohjelma sisältääkin monipuolisia äänitystoimintoja, kuten moniraitatallennuksen. Erityisesti haastattelu- ja podcast-käyttö lienee ollut vahvasti ohjelman kehityksen taustalla, sillä ohjelma sisältää myös erityisiä työkaluja radio-ohjelmien tai podcastien tekoon. Musiikin tuotantokin mainitaan ohjelman

nettisivuilla yhtenä käyttösovelluksena. Musiikin etäopetukseen Cleanfeed soveltuu myös, erityisesti jos pelkkä ääniyhteys riittää, sillä Cleanfeed ei tarjoa lainkaan kuvayhteyttä. Valmistaja tarjoaa kuitenkin internetsivuillaan hyvän ohjeistuksen ohjelman käyttöön Zoomin rinnalla, jolloin siis ääniyhteys muodostetaan Cleanfeedilla ja kuvayhteys Zoomilla. Hieman paradoksaalisesti valmistaja markkinoi ohjelmaa myös nopeasti käyttöön otettavana ja helppona, mutta esimerkiksi kaiunkumouksen puuttuessa varsinainen käyttö vaatii kuitenkin ääniteknologian sujuvaa hallintaa. Valmistajan oletuksena näet on, että käyttäjillä on käytössään lähes studio-olosuhteet eli laadukas mikrofoni, kuulokkeet sekä hiljainen tila. Kannettavan tietokoneen integroituja äänilaitteita ei suositella käytettävän.

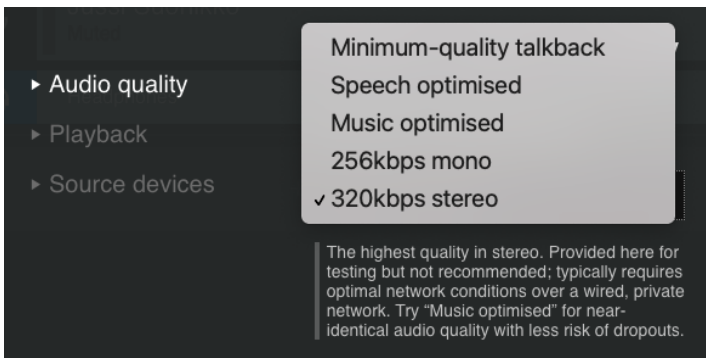
Tätä kirjoittaessa Cleanfeedin kehitys mobiililaitteiden selaimille on vielä kesken ja toistaiseksi toiminta on varmintä tietokoneella. Chrome-selain on laajimmin tuettu macOS ja Windows-ympäristöissä, Linuxilla Cleanfeed toimii Chromiumin kanssa. Kuukausimaksullinen PRO-versio tuo käyttöön äänityön kannalta liudan hyödyllisiä toimintoja, kuten korkeamman bittisyvyyden ja moniraitatallennuksen. Ääniasetuksista löytyy äänenlaadulle useita valintoja. Parhaan äänenlaadun tuottaa 320 kbps stereo. Musiikkikäyttöön soveltuu hyvin myös Music optimised.

Tallennustoiminto on helppokäyttöinen, eikä tallennuksen kestolla ole pituusrajoitetta. Tallenteen saa esimerkiksi jälkityöstöä ladattua .zip-muodossa tietokoneen paikalliselle kovalevylle ja muodostuvat äänitiedostot ovat .wav-muotoisia (16 bit / 48 kHz).

Kuva 13 Cleanfeedin toimintoja



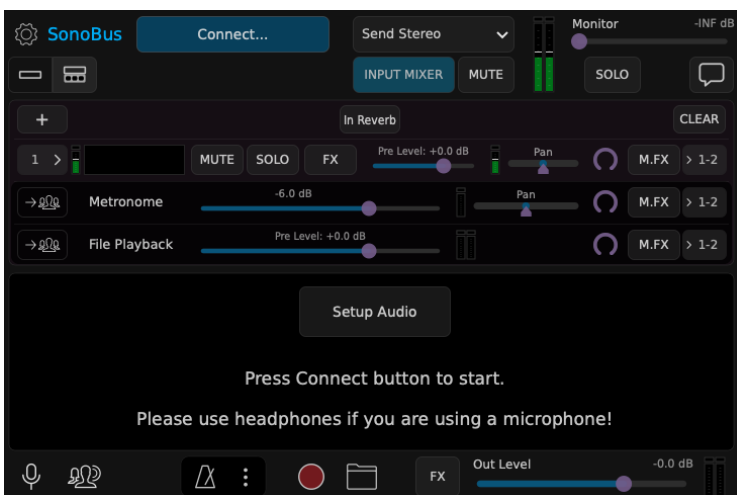
Kuva 14 Cleanfeedin ääniasetuksia



5.1.5 SonoBus

SonoBus tarjoaa monipuolisia toimintoja ja säätömahdollisuuksia. Esimerkiksi äänenlaatu on lähetettäessä mahdollista säätää jopa 32-bittiseksi liukulukuresoluutioksi. Myös jitter-puskurin kokoa voi itse hallita. Siinä missä Cleanfeed oli otettavissa käyttöön muutamassa minuutissa, on SonoBusin kanssa tilanne eri. Ääniteknikkaa runsaat mahdollisuudet varmasti innostavat, mutta ohjelman optimointi esimerkiksi etäopetuskäyttöön vaatii säätämistä ja sopivien asetusten etsimistä. Ohjelman valmistaja myöntää itsekin, että teknologinen aita SonoBusin käyttämiseen on korkeampi kuin vaikka Zoomilla. Sujuvaan käyttöön tarvitaan Windowsilla ymmärrystä ASIO-ajureista ja macOS:llä CoreAudiosta. Lisäksi tulisi hallita jitterpuskurin käyttö ja käsittää laitteistotasolla latenssin muodostuminen omassa järjestelmässä. (SonoBus, n.d.)

Kuva 15 SonoBus

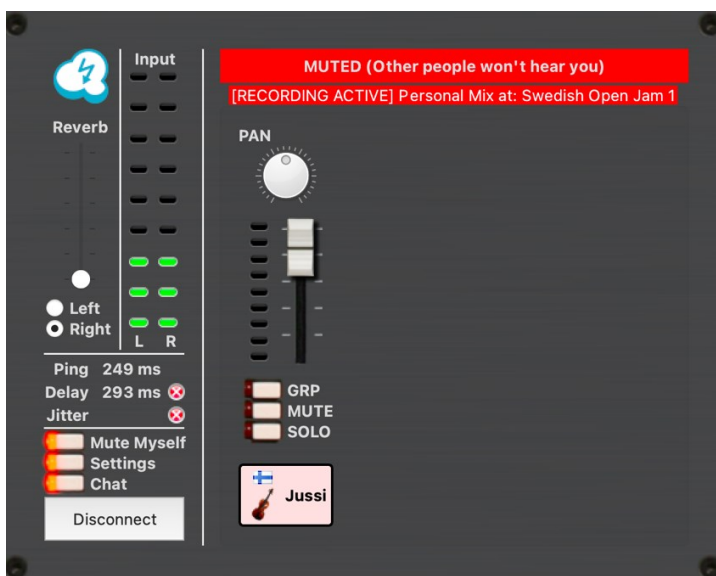


Vertaisverkkoon suunniteltu ohjelma ei todennäköisesti toimi organisaatioverkossa ilman verkonvalvojan apua ja suopeaa suhtautumista. SonoBus ei salaa liikennettä ja oppilaitoskäytössä tämä herättää kysymyksen tietosuojan toteutumisesta.

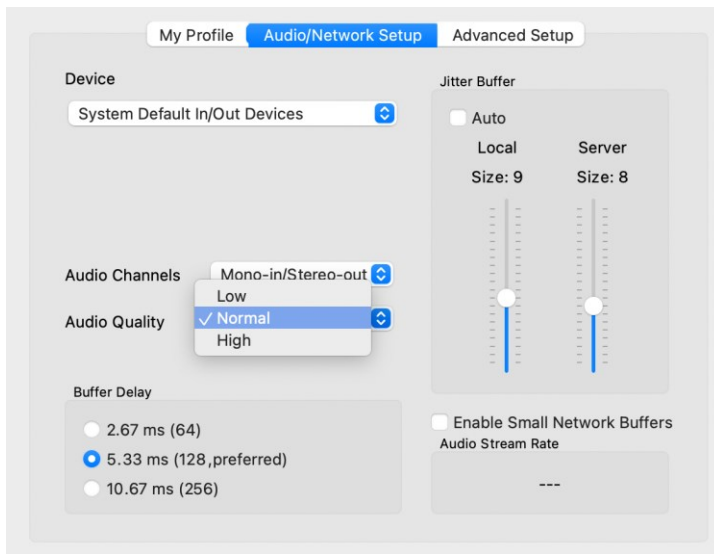
5.1.6 Jamulus

Ohjelmassa on toiminnollisia yhtäläisyyksiä SonoBusin kanssa, mutta Jamuluksen toiminta perustuu vertaisverkon sijaan client-server -malliin. Jamulus-palvelimet voivat olla julkisia tai yksityisiä, mutta olennaista on käyttää palvelinta, jonka viive on lyhin. Yleensä tämä on maantieteellisesti käyttäjiä lähinnä oleva palvelin. Käyttäjät voivat omassa client-ohjelmassaan luoda palvelimelta palaavasta signaalista itselleen mieluisan miksauksen. Jamuluksella on jonkin verran suomalaisia käyttäjiä, mutta suomalaisia palvelimia ei Jamuluksesta tätä kirjoittaessa löytynyt, lähimmät sijaitsivat Ruotsissa. Ihanteellisena viiveaikana yhteissoittoon pidetään alle 20 ms latenssia, yrittää voi 20-50 ms latenssillakin. Ruotsalaisten palvelimien kanssa viiveaika oli 30-50 ms. Yhteissoittoon suunniteltu ohjelma voisi oppilaitoskäytössä olla käyttökelpoinen juuri yhteissoiton harjoittelussa etänä, mutta suomalaista oppilaitoskäyttöä varten tulisi pystyttää oma palvelin. Myös Jamulus tarjoaa hyvän ohjeistuksen kuvayhteyden ottamiseen Zoomilla.

Kuva 16 Jamulus



Kuva 17 Jamuluksen ääniasetuksia



5.2 Havainnot USB-mikrofoneista

Kaikissa mikrofoneissa on kuulokelähtö, jonka kautta voidaan kuunnella saapuvaa signaalia. Kuulokelähdön äänenvoimakkuuden säätö löytyy myös jokaisesta mikrofoniasta. Suurimmassa osassa mikrofoneja mikrofonisignaalin vahvistuksen määrä (gain) on säädettävissä suoraan mikrofoniin rungosta. Nämä ovat, mykistysnapin (mute) ohella, osoittautuneet työskentelyä helpottaviksi toiminnoiksi suoratoisto- ja opetuskäytössä. Røden, Audio-Technican ja Eikonin mikrofoneista gainin säätö puuttuu ja näissä tapauksissa vahvistus on säädettävä käyttöjärjestelmän ja/tai käytettävän ohjelman ääniasetusten kautta ohjelmallisesti. Presonuksen mikrofoniin gainin säätö löytyy Presonuksen omasta ohjelmistosta, joka laajentaa mikrofoniin käyttömahdollisuuksia merkittävästi.

Røden, Audio-Technican ja Eikonin mikrofoniin suuntakuviot ovat kiinteä hertta. Muista mikrofoneista voi suuntakuviovalitsimella valita soveltuvien osien käyttöön myös superhertta-, pallo- ja kahdeksikkokuvion. Lisäksi AKG:n, Bluen ja Mackien mikrofoneissa on stereovaihtoehto. AKG:n mikrofoni rakentuu peräti neljästä erillisestä kapselista ja suuntakuviot on nimetty ei-oppikirjamaisesti Front (hertta), Front & Back (pallo), Tight Stereo (XY-tyylinen stereo) ja Wide Stereo (Blumlein-tyylinen stereo).

Kaikki testatut mikrofoniin asentuivat sekä Windows- että macOS-ympäristöön helposti ilman ajurien erillistä asentamista. Fyysisiltä ominaisuuksiltaan mikrofoniin tuntuivat olevan lujaa tekoa.

Kaikki mikrofonit ovat pöytätelineellä varustettuja, paitsi testin edullisin, Eikon CM14USB, joka on kiinnitettävä mikrofonitelineeseen. Røden ja Audio-Technican kolmijalkatelineet tuntuivat aluksi hieman kiikkeriltä, mutta löysivät tukevan asennon pienen säätämisen jälkeen. Kaikki mikrofonit saa pöytätelineen lisäksi kiinni myös mikrofonitelineeseen, tosin Samson G-Track Pro:hon telineadapteri on hankittava erillisenä lisävarusteena.

Taulukko 3 Mikrofonien teknisten ominaisuuksien vertailua

mikrofoni	suuntakuviot	mono / stereo	resoluutio	taajuusvaste	näytetaajuus
AKG Lyra	front, front & back, tight - ja wide stereo	stereo	24 bit	20 - 20000 Hz	192 kHz
AT2020USB+	hertta	mono	16 bit	20 - 20000 Hz	44,1 kHz
Blue Yeti	hertta, pallo, kahdeksikko, stereo	stereo	16 bit	20 - 20000 Hz	48 kHz
Eikon CM14 USB	hertta	mono	24 bit	20 - 20000 Hz	96 kHz
Mackie Element Carbon	hertta, superhertta, pallo, kahdeksikko, stereo	stereo	16 bit	20 - 20000 Hz	48 kHz
Presonus Revelator	hertta, pallo, kahdeksikko	mono	24 bit	20 - 20000 Hz	96 kHz
Røde NT-USB	hertta	mono	16 bit	20 - 20000 Hz	48 kHz
Samson G-Track Pro	hertta, pallo, kahdeksikko	mono / 2 track	24 bit	50 - 20000 Hz	96 kHz

Kaikki testissä olleet mikrofonit olivat riittävän hyvälaatuisia ja osoittautuivat käyttökelpoisiksi hankalammillekin äänilähteille (Taulukko 3). Äänensävyyssä oli eroja, mutta Zoomin kautta kuunnellessa erot eivät olleet merkittäviä. Suurimmat erot löytyivät eri ominaisuuksia laajentavista toiminnoista, joilla saattaa käyttötärpeesta riippuen olla merkittäviäkin hyötyjä (Taulukko 4).

Taulukko 4 USB-mikrofonien säätimiä ja erityispiirteitä

mikrofoni	kuulokelähdön volume	gain	monitoroinnin balanssin säätö	mute-painike	erityispiirteitä	hinta
AKG Lyra	on	on	ei	on	suuntakuviolla erikoiset nimet	139 €
AT2020USB+	on	ei	on	ei	pieni koko, testeissä hyvä soundi	129 €
Blue Yeti	on	on	ei	on		139 €
Eikon CM14 USB	on	ei	ei	on	xlr-liitin, ei omaa jalustaa, kiinnitettävissä vain mikrofonitelineeseen	99 €
Mackie Element Carbon	on	on	ei	on	jykevä rakenne	149 €
PreSonus Revelator	on	on	on	on	oma ohjelmisto, dsp-prosessointi mikrofonissa	179 €
Røde NT-USB	on	ei	on	ei	pop-filtteri, hieman kiikkerä pöytäteline	169 €
Samson G-Track Pro	on	on	ei	on	instrumenttitulo	249 €

Mikrofonin hyvä sijoittelu on etäopetuksessakin tärkeää. Mikrofonin tulee poimia instrumentin ja käyttäjän ääntä sopivassa balanssissa. Esimerkiksi rumpujensoiton opetuksessa puheäänienkin pitäisi kuulua järkevällä voimakkuudella. Soiton ja puheen tulee olla eriaikaisia. Oikea sijoituspaikka löytyy kokeilemalla, jolloin erilaisista suuntakuviosta saattaa olla hyötyä.

Samson G-Track Pro:n kyljessä on instrumenttisisääntulo. Mikrofoniin voi siis liittää vaikka sähkökitaran tai -basson. 2 track -toimintoa käyttämällä mikrofonin ja instrumenttitulon äänet voi äänitystilanteessa jakaa eri kanaville. AKG Lyran, Blue Yetin ja Mackie EleMent Carbonin stereovaihtoehdot lisäävät tuntuvasti monikäyttöisyyttä äänitys- ja suoratoistotilanteisiin. Vaihdeettaville suuntakuviolle voi olla käyttösovelluksia myös etäopetuksessa, opetettavasta instrumentista, kokoonpanosta tai opetustilasta riippuen. Presonus Revelatorin toiminnot laajentuvat jo edellä mainitulla omalla ohjelmistollaan, joka tarjoaa erilaisia efektejä ja monipuolisia tietokoneen sisäisiä loop-back-reititysmahdollisuuksia. Toimintojen käyttö vaatii jonkin verran paneutumista, mutta niitä voisi hyödyntää esimerkiksi musiikkiteknologian

opetuksessa. Loop-backin avulla saa samanaikaisesti kuuluviin mikrofonin, käyttöjärjestelmän ja vaikkapa jonkin sekvensseri- tai nuotinkirjoitusohjelman ääniulostulot.

Eikon CM14USB on varustettu USB-liitännän lisäksi XLR-liittimellä ja se toimii siis phantom-virran avulla myös ulkoisten äänikorttien ja esivahvistimien kanssa. Røde NT-USB:n erityispiirteeksi mainittakoon mukana tuleva, mikrofonin integroitava pop-filtteri. Se on miltei pakollinen hankinta kaikkiin muihin testin mikrofoneihin, mikäli mikrofonin puhuu tai laulaa lähietäisyydeltä.

Soundimelessä Audio-Technican AT2020USB+ oli kaikissa testeissä tasaisen vahva, mutta muilta toiminnoiltaan mikrofoni on niukka. Toisaalta, jos käyttötarve on yksinkertaisesti vain soittotunnit Zoomissa, voivat ylimääräiset toiminnot olla tiellä: on melko helppoa painaa mikrofonin mykistys vahingossa päälle, kun sitä käsittelee. Ja taas ihmetellään, miksei mitään kuulu.

Vaikka tietokoneen sisäisen mikrofonin soundiin verrattuna USB-mikrofoni on merkittävä parannus, on kuitenkin sanottava, että ulkoisesta mikrofonista ei äänenlaadun kannalta ollut juuri hyötyä opetettaessa Teamsin tai Meetsin välityksellä. Mikäli näitä alustoja käyttää, pääsee laitteen omalla mikrofonilla lähes yhtä hyvään lopputulokseen. Tällöin ulkoisen mikrofonin hyöty lienee sen paremmissa sijoittelumahdollisuuksissa.

Testiryhmä ei huomannut etua kalliimman äänitysmikrofonin ja etuasteen käytössä etäopetuksessa, kun verrataan USB-mikrofoniin. USB-mikrofonit ajavat siis asiansa oikein hyvin.

6 Yhteenveto

Olen työskennellyt mittavasti äänistudioissa ja ennakkoluulot USB-mikrofoneja kohtaan olivat vahvat. On tunnistettava, että en ole pitänyt niitä kovin uskottavina työkaluina. Olin siis positiivisesti yllättynyt siitä, kuinka hyvin ne toimivat ja soveltuvat etäopetuskäyttöön. Ennen testausta olisin todennäköisesti suositellut etäopetukseen kondensaattorimikrofonin ja ulkoisen äänikortin yhdistelmää. USB-mikrofonien helppokäyttöisyys ja laadukkuus tekevät niistä kuitenkin jatkossa ykkösvaihtoehdon etäopetuskäyttöön. Hintakin on usein edullisempi. Yllättävä tulos oli myös se, että perinteinen laadukas äänitysmikrofoni ei tuonut lisäarvoa äänenlaatuun verrattaessa USB-mikrofoniin.

Zoomin musiikkiominaisuudet ja kuvayhteys tekevät siitä käytettävimmän ohjelmiston synkroniseen etäopetukseen. Zoomin ääniasetusten kanssa täytyy kuitenkin tietää tarkasti, mitä tekee. Ääneen keskittyvien ohjelmien, kuten Cleanfeedin, lähettämä äänenlaatu oli myös todella hyvä, jopa parempi kuin Zoomissa. Mielestäni oli myös suorastaan merkittävää, kuinka heikosti Teams ja Meets soveltuvat musiikin etäopetukseen. Musiikin kannalta äänenlaatu oli suorastaan surkea, ja on aivan sama käyttääkö näiden ohjelmien kanssa ulkoista mikrofontia vai ei.

Laadukkaan etäopetusteknologian hankkiminen ei ole tänä päivänä enää suuri kustannuskysymys. Jo ohjelmistojen ilmaisversioillakin tulee monin paikoin toimeen. Laitteistokin on pienin satsauksin nostettavissa hyvälle tasolle.

Etäyhteismusisointi ei ole viiveongelmien takia yleistynyt. Monessa oppilaitoksessa yhteismusisointi olikin osin tauolla pandemian aikana. Musiikkiin keskittyneet ohjelmistot kuitenkin pyrkivät viiveettömyyteen ja tulevaisuudessa olisi mielenkiintoista perehtyä ohjelmistojen mahdollisuuksiin yhteismusisoinnin opetuksessa. Opinnäytetyöstäni puuttuu myös pedagoginen näkökulma etäopetukseen, mikä käytännön opetustyön kannalta olisi olennainen lisä työhön tulevaisuudessa. Koronapandemiakin loppuu aikanaan. On mielenkiintoista nähdä, kuinka pysyvästi etäopetus tulee jäämään musiikkioppilaitoksiin ja millaisia uusia innovaatioita pandemian aikana on kehittynyt.

Lähteet

Aczel P. (1991). Basic Issues of Reviewing and Critical Listening: Our Present Stance. *The Audio Critic*. Issue no. 16 Spring through Fall 1991, 31-33.

Aho, E. (2006). *Tilaääni*. Idemco Oy, Riffi-julkaisut.

Apple. (n.d.). Use FaceTime with your iPhone, iPad, or iPod touch. Haettu 16.9.2021 osoitteesta <https://support.apple.com/en-us/HT204380>

Brown, S. (2020). Google Meet vs. Hangouts: Main differences between the video chat services. Haettu 14.9.2020 osoitteesta <https://www.cnet.com/tech/services-and-software/google-meet-vs-hangouts-main-differences-between-the-video-chat-services/>

Cleanfeed. (n.d.). Cleanfeed Knowledgebase. Haettu 14.9.2021 osoitteesta <https://cleanfeed.net/faq>

Cowling, J. (2016). A Brief History of Skype - the peer to peer messaging service. Haettu 16.9.2021 osoitteesta <https://content.dsp.co.uk/history-of-skype>

Curry, L. (2019). Microsoft Teams: A Beginner's Guide to Teams in Office 365. Haettu 14.9.2021 osoitteesta <https://www.chorus.co/resources/news/microsoft-teams-a-beginners-guide-to-teams-in-office-365>

Davidson, J., Peters, J., Gracely B. (2000). *Voice over IP fundamentals*. Cisco Press.

[KUVA]:

DPA Microphones (n.d.). 4006 Omnidirectional Microphone [kuva]. Haettu 16.9.2021 osoitteesta <https://www.dpamicrophones.com/pencil/4006-omnidirectional-microphone>

Gideon, T. (2021). The Best USB Microphones for 2021. Haettu 16.9.2021 osoitteesta <https://uk.pcmag.com/microphones/116655/the-best-usb-microphones-for-2020>

[KUVA]:

Hensall, M. (2015). Microphone Directionality and Polar Pattern Basics [kuva]. Haettu 14.8.2021 osoitteesta <https://www.shure.com/en-EU/performance-production/louder/microphone-directionality-polar-pattern-basics>

Huber, D. (2005). *Modern Recording Techniques*. Focal Press.

Jamulus. (n.d.). Setup – Getting started with Jamulus. Haettu 11.9.2021 osoitteesta <https://jamulus.io/wiki/Getting-Started>

Jitsi. (n.d.). FAQ. Haettu 16.9.2021 osoitteesta <https://jitsi.github.io/handbook/docs/faq>

Laaksonen, J. (2013). *Äänityön kivijalka*. Idemco Oy, Riffi-julkaisut.

[KUVA]:

Masteringbox. (n.d.). Bit Depth: What is it and How Does it Affect Your Work? [kuva] Haettu 16.9.2021 osoitteesta <https://www.masteringbox.com/bit-depth/>

Microsoft Teams. (n. d.). Reduce background noise in Teams meetings. Haettu 4.5.2021 osoitteesta <https://support.microsoft.com/en-us/office/reduce-background-noise-in-teams-meetings-1a9c6819-137d-4b3b-a1c8-4ab20b234c0d>

Mäkelä, J. (2003). *Kotistudio*. Like.

[KUVA]:

Neumann. (n.d.). Microphone Basics (6) – Do I Really Need A Shockmount. Haettu 29.9.2021 osoitteesta <https://www.neumann.com/homestudio/en/do-i-really-need-a-shock-mount>

Neumann. (n.d.). What is the proximity effect? Haettu 11.9.2021 osoitteesta <https://www.neumann.com/homestudio/en/what-is-the-proximity-effect>

Ojala, J. (2006). Monimedia ja ihmisen sensomotoriikka. Teoksessa J. Ojala (toim.), M. Salavuo (toim.), M. Ruippo (toim.), O. Parkkila (toim.), *Musiikkikasvatusteknologia* (s. 113). Suomen musiikkikasvatusteknologian seura.

Reuben, Y. (2021). What is Cisco WebEx? Everything You Need To Know. Haettu 16.9.2021 osoitteesta <https://getvoip.com/blog/2019/11/20/what-is-webex/>

Rossing, T. D. (1990). *The Science of Sound*. Addison-Wesley Publishing Company.

Ruippo, M. (2015). Musiikin verkko-opetus: yhteenvetoraportti Sibelius-Akatemian aluekehityshankkeesta vuosina 2001–2003 ja sen jälkeisestä verkko-opetuksen kehittämisestä. [Lisensiaatintyö, Sibelius-Akatemia]. Helda. <https://helda.helsinki.fi/handle/10138/235017>

Ruippo, M. (2006). Videoneuvottelu. Teoksessa J. Ojala (toim.), M. Salavuo (toim.), M. Ruippo (toim.), O. Parkkila (toim.), *Musiikkikasvatusteknologia* (s. 240). Suomen musiikkikasvatusteknologian seura.

Ruippo, M. (2021). Ääniasetukset. Haettu 4.5.2021 osoitteesta <http://ruippo.fi/zoom/styled/styled-8/index.html>

Salavuo, M. (2006). Musiikin verkko-oppimisen pedagogiikka. Teoksessa J. Ojala (toim.), M. Salavuo (toim.), M. Ruippo (toim.), O. Parkkila (toim.), *Musiikkikasvatusteknologia* (s. 71). Suomen musiikkikasvatusteknologian seura.

[KUVA]:

Shure. (n.d.) SM58 Vocal Microphone [kuva]. Haettu 16.9.2021 osoitteesta <https://pubs.shure.com/guide/SM58/en-US>

Sihvonen, M., Varga, A. (2006). Pakkausmenetelmät sekä media tallenteena ja vuona. Teoksessa J. Ojala (toim.), M. Salavuo (toim.), M. Ruippo (toim.), O. Parkkila (toim.), *Musiikkikasvatusteknologia* (s. 138). Suomen musiikkikasvatusteknologian seura.

SIP Forum. (n.d.). SIP Technology. Haettu 11.9.2021 osoitteesta <https://www.sipforum.org/technology/sip-technology/>

SonoBus. (n.d.). SonoBus User Guide. Haettu 11.9.2021 osoitteesta https://sonobus.net/sonobus_userguide.html

WhatsApp. (n.d.). Tietoja WhatsAppista. Haettu 16.9.2021 osoitteesta

<https://www.whatsapp.com/about>

Xiph.Org. (n.d.). OpusFAQ. Haettu 11.9.2021 osoitteesta <https://wiki.xiph.org/OpusFAQ>

Zoom. (2021). System requirements for Windows, macOS and Linux. Haettu 13.8.2021 osoitteesta

<https://support.zoom.us/hc/en-us/articles/201362023-System-requirements-for-Windows-macOS-and-Linux>

Liite 1: Aineistonhallintasuunnitelma

Opinnäyteprosessin aikana tehdään testiäänityksiä. Nämä äänitykset analysoidaan opinnäytetyötä varten. Äänitteitä säilytetään tekijän pilvipalvelussa (OneDrive), ja niistä tehdään varmuuskopio ulkoiselle kovalevyille. Äänityksiä säilytetään pilvipalvelussa ainakin vuoden verran opinnäytetyön valmistumisesta.

Liite 2: Riffi-lehden artikkeli: Musiikinopetusta etänä – USB-mikrofoni on äänikortti

MOUNT MARY - bändi eikä mikään workshop!

Nro 2-2021 Hinta 11,30 €



Riffi

Kohinaton chorus, analogisesti!

PESSI LEVANTO:
– Alussa kannattaa tehdä kvantiteettia ja sit pikku hiljaa tiivistää kvaliteettia.

Antti Rintamäki:
– Suorissa lähetyksissä automaattimikseri on korvaamaton.

TEKSTI: MATTI RUIPPO, JUSSI SUONIKKO, ANTTI VARTAINEN

Musiikinopetusta etänä

– USB-mikrofoni on myös äänikortti

Musiikkia opitaan paljolti tekemisen kautta ja opettajan palaute musisointitilanteessa on olennaista. Lisäksi musiikkia opitaan kuuntelemalla, eivätkä tekstipohjaiset välineet ole siis kovin käteviä. Niinpä verkko-opetuksessakin kiinnostavat nimenomaan ns. synkroniset ratkaisut, joissa opettaja ja oppilas työskentelevät samanaikaisesti. Esimerkiksi Google Meets, Microsoft Teams ja Zoom täyttävät tämän ehdon.

Opetuksen voi järjestää myös pelkällä ääniyhteydellä. Alustaksi käyvät vaikkapa Cleanfeed, Jamulus tai Sonobus, joiden etuina on hyvän äänenlaadun lisäksi liki viiveetön äänen siirto, kunhan verkkoyhteys on riittävän nopea. Näköyhteyden voi avata siihen rinnalle vaikka Zoomilla, joskin huulisynkronointi puuttuu.

Nyt syvennyttään kuitenkin alustoihin, joissa yhdistyvät video ja ääni.

Yleisistä kokousohjelmaista Meets ja Teams ovat keskittyneet puheääneen ja niiden äänitoiminnot rajoittuvatkin tällä hetkellä ainoastaan taustamelun suodatuksen. USB-mikrofoni ei tuo niissä ratkaisevaa parannusta äänenlaatuun, vaikka ulkoisen mikrofonin voikin sijoittaa vapaammin.

Musiikinopetusta palveleekin parhaiten Zoom, jossa on kilpailijoita enemmän äänitoimintoja. Esimerkiksi Original Sound-toiminto parantaa äänenlaatua musiikinopetuksessa merkittävästi. Se ohittaa automaattisen tasosäädön, taustahälyn vaimennuksen ja poistaa matalien äänten suodatuksen. Mainitut automatiikat selkiyttävät kuitenkin puheen välitymistä, joten keskusteluiden aikana Original Sound kannattaa kytkeä pois. Parhaan äänenlaadun Zoomissa saa High Fidelity Music Modessa, joka kaksinkertaistaa äänikaistan bittivirran. Se on saatavilla vain työpöytäversiossa ja siitä on hyötystä etenkin ulkoisen mikrofonin kanssa. Zoom päivittyy tiheään ja sen äänitoimintoihin on tullut kuluneen vuoden aikana useita parannuksia. Monoääninen vaihtoehtona siinä on myös stereofonia.

Yhteydet kuntoon

Verkkoyhteyden on oltava riittävän nopea ja vakaa. Etäopetusohjelmistojen vaatimukset ovat onneksi melko vaatimattomia. Esimerkiksi Zoom tarvitsee nopeutta maksimissaan vain noin 4 Mbps sisään ja ulos. Toisaalta, jos joku osallistuu opetukseen matkapuhelimella, jonka yhteys on vain 1 Mbps, on tilanne jo lähtökohtaisesti laitteen ja yhteyden puolesta huono.

Tietokone on mobiililaitetta parempi myös lisälaitteiden puolesta. Monet USB-mikrofonit saa adapterein kiinni mobiililaitteisiin, mutta tällöin tulee varmistaa, että laite suostuu käyttämään ulkoista mikrofonia Zoomin kanssa.

Pandemia siirsi musiikkitunnit luokista nettiin ja verkkokokouksiin tarkoitetut ohjelmistot valjastettiin pika pikaa tähänkin tarkoitukseen. Sopivilla lisävarusteilla ne saattavat palvella vieläkin paremmin.

Testatut mikrofonit:

AKG Lyra
Audio-Technica AT2020USB+
Blue Yeti
Eikon CM14USB
Mackie EleMent Carbon
Presonus Revelator
Røde NT-USB
Samson G-Track Pro



Kannettava tietokone voi olla hankalampi sijoittaa hyvän kuvakulman löytämiseksi. Tällöin auttaa USB-porttiin liitettävä webkamera.

Laadukkaiden kuulokkeiden tai kaiuttimien käyttö etäopetus-tilanteessa mahdollistaa miellyttävämmän kuuntelukokemuksen.

USB-mikrofoni on kätevä

USB-mikrofoni toimii itse ulkoisena äänikorttina tietokoneelle, mitä voi pitää etuna erillisen mikrofonin ja äänikortin yhdistelmään verrattaessa. Kokeilimme artikkelia varten kahdeksaa USB-mikrofonia erityisesti etäopetuksen ja musiikkioppilaitostoiminnan (esimerkiksi oppilaskonserttien suoratoistot) näkökulmasta ja teimme myös testiäänityksiä. Tuloksia voi soveltaa myös kotistudioon tai muuhun pienimuotoiseen äänitystoimintaan, esimerkiksi yksittäisten raitojen tallennukseen.

Käytimme testeissä ohjelmistojen työpöytä- ja selainversioita. Liitettävyyttä ja toimintaa mobiililaitteiden kanssa emme testanneet. Testi-instrumentteina käytimme taajuusalueiden ääripäissä operoivia kontrabassoa ja huilua sekä pianoa. Etäopetuksessa ne ovat osoittautuneet hyvän äänenlaadun kannalta hankaliksi instrumentteiksi. Laitteistolle ja ohjelmille vaativaa toistettavaa ovat myös löymäsoitinten laaja dynamiikka ja voimakkaat transientiäänit sekä toisaalta hiljaiset äänilähteet, kuten kantele. Testasimme mikrofoneja myös näiden soittimien sekä puheäänien kanssa.

Havaintoja

Kaikissa mikrofoneissa on kuulokelähtö, jonka kautta voidaan kuunnella saapuvaa signaalia. Kuunteluvoimakkuuden säätö löytyy jokaisesta, ja useimmissa myös mikrofonisignaalin vahvistuksen määrä (gain) voi säätää suoraan mikrofonin rungosta. Nämä ovat, mykistysnapin (mute) ohella, osoittautuneet työskentelyä helpottaviksi toiminnoksi suoratoisto- ja opetuskäytössä.

Audio-Technican, Eikonin ja Røden mikrofoneista gainin säätö puuttuu ja taso täytyy asettaa käyttäjärjestelmän ja/tai käytettävän ohjelman ääniasetuksista. Presonuksella gainin säätö löytyy valmistajan omasta applikaatiosta, joka laajentaa muitenkin ominaisuuksiensa ansiosta mikrofonin käyttömahdollisuuksia merkittävästi. Apuohjelma tarjoaa mm. erilaisia efektejä ja monipuolisia tietokoneen sisäisiä reititysmahdollisuuksia. Audio-Technican, Eikonin ja Røden suuntakuvio on kiinteä hertta. Muissa voi valita soveltuvin osin käyttöön myös super-

hertta-, pallo- ja kahdeksikkokuvion. Lisäksi AKG:n, Bluen ja Mackien mikrofoneissa on stereovaihtoehto. AKG:n Lyra rakentuu peräti neljästä erillisestä kapselista ja suuntakuviot on nimetty ei-oppikirjamaisesti Front (hertta), Front & Back (pallo), Tight Stereo (X/Y-tyylinen stereo) ja Wide Stereo (Blumlein-tyylinen stereo).

Vaihdettaville suuntakuvioille voi olla käyttösovelluksia myös etäopetuksessa, opetettavasta instrumentista, kokoonpanosta tai opetustilasta riippuen.

Kaikki testatut mikrofonit asentuivat sekä Mac- että Windows-ympäristöön helposti ilman ajuririkkeitä.

Fyysisiltä ominaisuuksiltaan mikrofonit tuntuivat olevan lujaa tekoa ja Eikonin lukuunottamatta jokaisessa on oma pöytäalustansa. Audio-Technican ja Røden kolmijalkatelineet tuntuivat aluksi hieman kiihkeitä, mutta niillekin löytyi pienellä säätämällä tukeva asento. Kaikki mikrofonit saa kiinni myös mikrofonitelineeseen, tosin Samson G-Track Pro:hon

Mikrofoni	AKG Lyra	Audio-Technica AT2020 USB+	Blue Microphones Yeti	Eikon CM14 USB
				
Suuntakuvio	front, front & back, tight stereo, wide stereo	hertta	hertta, pallo, kahdeksikko, stereo	hertta
Mono / stereo	stereo	mono	stereo	mono
Resoluutio	24 bit	16 bit	16 bit	24 bit
Taajuusvaste (valmistajan ilmoittama)	20–20 000 Hz	20–20 000 Hz	20–20 000 Hz	20–20 000 Hz
Näytetaajuus	192 kHz	44,1 kHz	48 kHz	96 kHz
Adapteri mikrofonitelineeseen	on	on	on	pelkkä mikkiständi
Pöytäständi	on	on	on	ei
Säätimet	kuulokelähdön volume, mikrofonisignaalin vahvistus (gain), suuntakuviovalitsin, mute-painike	monitoroinnin balanssin säätö, kuulokelähdön volume, gainin säätö puuttuu	kuulokelähdön volume, mikrofonisignaalin vahvistus (gain), suuntakuviovalitsin, mute-painike	kuulokelähdön volume, mute-painike
Erityispiirteitä	suuntakuvioilla erikoiset nimet	pieni koko, testeissä hyvä soundi		xlr-liitin
Hinta	139 €	129 €	139 €	99 €
Lisätiedot	Studiotec studiotec.fi	Studiotec studiotec.fi	Blue (Baltic Latvian Universal Electronics) bluemic.com	Studiotec studiotec.fi

täytyy hankkia telineadapteri erillisenä lisävarusteena.

Kaikki testissä olleet mikrofonit olivat riittävän hyvälaatuisia ja osoittautuivat käyttökelpoisiksi hankalammillekin äänilähteille. Äänensävyissä oli eroja, mutta Zoomin kautta kuunnellessa erot eivät olleet merkittäviä. Suurimmat erot löytyivät eri ominaisuuksia laajentavista toiminnoista, joilla saattaa käyttötärpeestä riippuen olla merkittäviäkin arvoja.

Mikrofonin tulee poimia instrumentin ja käyttäjän ääntä sopivassa balanssissa. Jopa rumpujensoiton opetuksessakin myös puheäänien pitäisi kuulua järkevällä voimakkuudella. Oikea sijoituspaikka mikrofonille löytyy kokeilemalla, jolloin erilaisista suuntakuviosta saattaa olla merkittävää hyötyä. Soiton ja puheen tulee silti olla eriaikaista.

Samson G-Track Prossa on erillinen liitäntä instrumentille, vaikkapa sähkökitaralle tai -bassolle. 2 track -toimintoa käyttämällä mikrofonin ja instrumenttitulon äänen voi jakaa eri kanaville mikä helpottaa balanssin hallintaa.

AKG Lyran, Blue Yetin ja Mackie Element Carbonin stereovaihtoehdot lisäävät tuntuvasti monikäyttöisyyttä äänitys- ja suoratoistotilanteisiin.

Eikon CM14USB on varustettu USB-liitäntään lisäksi XLR-liittimellä, ja se toimii siis phantom-virran avulla myös ulkoisten äänikorttien ja esivahvistimien kanssa.

Rode NT-USB:n erityispiirteeksi mainittakoon mukana tuleva, mikrofonin integroitava pop-filteri. Se on miltei pakollinen hankinta kaikkiin muihin testin mikrofoneihin, mikäli mikrofonin puhuu tai laulaa lähietäisyydeltä.

Soundimelessä Audio-Technican AT2020USB+ oli kaikissa testeissä tasainen vahva, mutta muilta toiminnoiltaan mikrofonin on niukka. Toisaalta, jos käyttötarve on yksinkertaisesti etäyhteys soittotunneilla, voivat muut toiminnot olla vain tiellä.

Testiryhmä ei huomannut etua kalliimman äänitysmikrofonin ja etuasteen käytössä etäopetuksessa, kun verrataan USB-mikrofonin. USB-mikrofonit ajavat siis asiansa oikein hyvin. ◆

Jutussa esiintyvien kahdeksan mikrofonin lisäksi markkinoilla on useita muitakin USB-mikrofoneja, joista Riffissä on aiemmin erikseen käsitelty mm. Shuren MV7 (Riffi 6/2020) sekä Shuren Motiv-sarjan MV5, MV51 sekä MVI (Riffi 5/2015). Shuren tuotteita edustaa Suomessa Intersonic (intersonic.fi)

Lisätietoa: ruippo.fi/zoom

Mackie Element Carbon	Presonus Revelator	Rode NT-USB	Samson G-Track Pro
			
hertta, superhertta, pallo, kahdeksikko, stereo	hertta, pallo, kahdeksikko	hertta	hertta, pallo, kahdeksikko
stereo	mono	mono	mono / 2 track
16 bit	24 bit	16 bit	24 bit
20–20 000 Hz	20–20 000 Hz	20–20 000 Hz	50–20 000 Hz
48 kHz	96 kHz	48 kHz	96 kHz
on	on	on	ei
on	on	on	on
kuulokelähdön volume, mikrofonisignaalin vahvistus (gain), suuntakuviavaltaisin, mute-painike	kuulokelähdön volume (mikrofonissa), mute-painike (mikrofonissa), suora monitorointi (mikrofonissa), presetien valinta (mikrofonissa), mikrofonisignaalin vahvistus (softassa), suuntakuviavaltaisin (softassa), presetien hallinta (softassa), monitoroinnin balanssin säätö (mikrofonissa)	monitoroinnin balanssin säätö, kuulokelähdön volume, gain-säätö puuttuu	kuulokelähdön volume, mikrofonisignaalin vahvistus (gain), linjatulon vahvistus (gain), suuntakuviavaltaisin, mute-painike
jykevä rakenne	oma softa ja dsp-prosessointi mikissä	pop-filteri, hieman kiikkerä pöytäteline	instrumenttitulo
149 €	179 €	169 €	249 €
Studiotec	Nordic Audio Distribution	Svanfield	EM Nordic
studiotec.fi	nordicaudio.eu	svanfield.fi	emnordic.fi