



OULUN YLIOPISTO
UNIVERSITY of OULU

KASVATUSTIETEIDEN TIEDEKUNTA



OULUN YLIOPISTO
UNIVERSITY of OULU

Kasvatustieteiden tiedekunta

Tiivistelmä opinnäytetyöstä

Musiikkikasvatuksen koulutus		Tekijä Kallio, Teemu	
Työn nimi Soittimen kehittäminen kehitysvammaiselle. Soitinrakennus erityispedagogiikan kontekstissa.			
Pääaine Musiikkikasvatus	Työn laji Pro gradu -tutkielma	Aika 6.5.2013	Sivumäärä 60 + 4
Tiivistelmä Tässä tutkimuksessa kehitettiin ja rakennettiin soitinta kehitysvammaiselle käyttäjälle. Tutkimus oli tarpeellinen, koska tutkimuksen tekijältä tilattiin soitin, jonka haluttiin palvelevan käyttäjän tarpeita ja huomioimaan hänen rajoituksiaan. Tutkimuskysymykset olivat seuraavat: 1. Miten design-tutkimus auttaa soitinrakennuksessa, joka ottaa huomioon erityiskohderyhmän? 2. Mitkä seikat ovat tärkeitä suunniteltaessa uutta soitinta kehitysvammaiselle? Tutkimuskysymysten lisäksi tutkielmassa käytettiin ohjaavia kysymyksiä, jotka tukivat käytännön kehitys- ja rakennustyötä yhdessä tarkempien design-kysymysten kanssa. Tutkimus liittyy läheisesti soitinrakennuksen, erityismusiikkikasvatuksen ja soitinakustiikan tutkimukseen, sekä soitintutkimukseen. Aikaisemman soitinrakennuksen osalta tutkimuksessa käytiin läpi soitinrakennuksen tutkimisen eri näkökulmia. Soitinrakennuksen ja erityismusiikkikasvatuksen yhteyksiä käsiteltiin integraation ja inklusion näkökulmasta sekä aikaisempien erityisryhmille suunnattujen soittimien kautta. Suunnittelun ja rakentamisen apuna käytettiin design-tutkimusta, joka on osa toimintatutkimusta. Siinä tutkimuksen alussa määritellään välipalavereja, joilla tarkastellaan etukäteen määriteltyjen kysymysten avulla tutkimuksen etenemistä ja onnistumista. Tarvittaessa palavereissa voidaan täsmentää asetettuja kysymyksiä ja niihin voidaan palata seuraavissa palavereissa eli interventioissa. Tutkimuksen aineisto kehittyi design-tutkimuksen mukaisesti samalla kun soittimen suunnittelu- ja kehitysprosessi eteni. Tutkimuksessa saatiin kehitettyä toimiva soitin, jonka suunnittelussa on otettu huomioon kehitysvammaisen käyttäjän erityistarpeet ja rajoitteet. Soittimen kehitystyöstä saatiin tietoa sekä tämän tutkimuksen soittimeen jatkokehitystä ajatellen, että myös eräitä periaatteita, joita on mahdollista hyödyntää muissa soittimissa design-tutkimuksen algoritmisuuden periaatteen mukaisesti. Asetettuihin tutkimuskysymyksiin saatiin seuraavat vastaukset: Design-tutkimuksen periaatteet korostuvat otettaessa huomioon jo suunnittelun alussa tulevan soittimen käyttäjän erityistarpeita ja rajoitteita. Tärkeimmät seikat tutkimuksen kehitysvammaiselle henkilölle soitinta kehitettäessä olivat soittimen helppo käsiteltävyys, soittamisen mahdollisuus ilman kehittyntä hienomotoriikkaa, soittimen kestävyys, soittamisen suoraviivaisuus ja soittimen selkeä sekä kuuluva ääni. Tutkimustuloksista saatiin selville, miten design-tutkimus on auttanut soittimen kehitysprosessissa sekä suunnittelun jäsentelyssä. Myös tutkimuksen tekijän oman ammattitaidon kasvaminen tutkimuksen aikana on selkeä ja konkreettinen tulos. Tässä tutkimuksessa saatuja tuloksia voidaan hyödyntää niin soitinrakennuksen, kuin myös musiikkikasvatuksen ja erityispedagogiikan alueella.			
Asiasanat soitinrakennus, erityispedagogiikka, musiikkikasvatus, kehitysvammaisuus, design			

SISÄLLYS

1	Johdanto	3
2	Soitinrakennus ja erityismusiikkikasvatus	5
2.1	Soitinrakennuksen tutkimus- ja kehitystyö	5
2.2	Soitintutkimus	8
2.2.1	Äänen ominaisuuksia.....	9
2.2.2	Äänessä kuultavia ominaisuuksia	14
2.3	Soitinrakennus ja erityismusiikkikasvatus	16
2.4	Kehitysvammaisuus ja Downin syndrooma	19
2.5	Soittajan tarpeet ja rajoitteet.....	20
2.6	Arvot ja periaatteet	23
3	Design-tutkimus	25
4	Ohjaavat kysymykset ja tutkimuskysymykset	29
5	Uuden soittimen suunnittelu ja rakennus	31
5.1	Kielirakenne määrää soittimen luonteen	31
5.2	Tietokoneavusteinen suunnittelu	33
5.2.1	Kielienlaskentadokumentti	33
5.2.2	CAD-mallinnus.....	37
5.3	Tasovärähtelijän suunnittelu ja rakennus	40
5.4	Kaulan rakennus	43
5.5	Kopan rakennus.....	44
5.6	Soittimen kokoaminen.....	46
5.6.1	Kaulan kiinnitys.....	46
5.6.2	Kopan kiinnitys.....	47
6	Tulokset.....	49
6.1	Design-kysymysten tulokset.....	49
6.2	Prototyypin ensihavaintoja	52
6.3	Varsinaiset tutkimuskysymykset.....	53
7	Pohdinta.....	55
	Lähteet.....	57
	Liitteet	60

1 JOHDANTO

Olen ollut kiinnostunut soittimien rakennuksesta jo yläkouluikäisestä lähtien. Rakensin ensimmäisen soittimeni yläkouluaikoina ja hainkin yhdeksännen luokan keväällä opiskelemaan Ikaalisten soitinrakennuslinjalle. Tieni päätyi kuitenkin lähilukioon ja sitä kautta Oulun yliopistoon. Syksyllä 2008 aloitin toiset opinnot yliopisto-opintojen rinnalla Siilinjärvellä Ingmanin käsi- ja taideteollisessa oppilaitoksessa puuseppäartesaanin koulutuksessa. Ollessani työharjoittelujaksolla kesällä 2009 Soitinrakentajat AmF:lla Leppävirralla pääsin tutustumaan monipuolisesti soitinrakentajan arkeen sekä erilaisten soittimien rakentamiseen. Perustin oman toiminimen, päätoimialana soitinrakennus, syksyllä 2009. Myöhemmin olin myös työtehtävissä Soitinrakentajat AmF:lla. Kandidaatintutkielmassa käsittelin flyygelin rakennetta, mutta oli jo heti tutkielman valmistuttua selvää, että jatkan jollain muulla aiheella pro gradu -tutkielmassa. Kandidaatintutkielmani oli luonteeltaan hyvin paljon soitinrakennusta käsittelevää. Se perustui pikemminkin valmiin toimivan tuotteen toimintojen selittämiseen kuin siihen, että soittimen syntymiseen johtavia tekijöitä sen kummemmin analysoitaisiin.

Alkusysäys pro gradun aiheelle tuli keväällä 2011 saadessani soitinkehityspyynnön sekä soitintilauksen kehitysvammaiselle Riitalle hänen äidiltään ja MEOK-hankkeen vetäjältä MuT Päivi-Liisa Hannikaiselta. MEOK-hanke (Musiikin erityispedagogiikan osaamiskeskittymä) on vuosina 2011 - 2012 järjestetty ESR-rahoitteinen täydennyskoulutus, jossa ohjataan ja koulutetaan eri alojen toimijoita musiikin ja erityismusiikkikasvatuksen asiantuntijoiksi omilla sektoreillaan. Päädyin koulutukseen mukaan sen jo alettua, ja minun erityisosaamisalueekseni muotoutui koulutuksessa soitinrakennus. Tämä tarkoittaa että keskityin MEOK-koulutuksessa kehittämään soitinrakennusta erityisryhmät huomioon ottaen. Koulutuksen vetäjältä tullut soitintilaus on näin ollen erinomainen tilaisuus, jonka voin yhdistää myös pro graduuni. Pro gradu -tutkielmani keskittyy pääasiassa soittimen kehittämis- ja rakennustyöhön ja MEOK-koulutuksen harjoittelutyönä rakennan osan soittimen malleista ja osista.

Käytän viitatessani alaviittemerkintää. Viittemerkintä heti sanan jälkeen on viite edeltävään sanaan tai virkkeeseen. Viittemerkintä pisteen jälkeen viittaa koko edeltävään kappaleeseen tai aikaisempaan viittemerkintään saakka. Viittemerkintä sanan jälkeen viittaa edelliseen

sanaan tai ajatukseen. Käytin alaviitemerkintää kandidaatintutkielmassani, ja koin sen luetavuuden kannalta järkeväksi. Samoin haluan auttaa lukijoita, joille sisäviitteet eivät ole tuttuja ja ne saattaisivat vaikeuttaa lukemista. Mielestäni potentiaalisia lukijoita pro gradu -työlleni ovat esimerkiksi soitinrakennuksesta tai erityispedagogiikasta kiinnostuneet.

2 SOITINRAKENNUS JA ERITYISMUSIIKKIKASVATUS

Tässä luvussa käsittelen joitain keskeisempiä käsitteitä ja esittelen tutkimuskenttää. Luvussa 2.1 tarkastelen aikaisempaa soitinrakennuksen tutkimusta ja soittimien kehittämisen problematiikkaa. Soitintutkimus sekä soitinakustiikka ovat sisältöä, joita ei voi sivuuttaa soitinrakennuksen yhteydessä. Näiden käsitteitä avaan luvussa 2.2.

Soitinrakennuksen ja musiikkikasvatuksen yhdistäminen tämän tutkimuksen puitteissa on ollut haastavaa. Tutustuin soitinrakennuksen ja musiikkikasvatuksen yhdistämiseen päättöharjoittelussani opettajankoulutuksessa keväällä 2011. Kuitenkaan tämä tutkimus ei liity varsinaisesti soittimien rakentamiseen musiikkituntien yhteydessä, vaan näkökulmaa on haettava kehitettävien soittimien käyttömahdollisuuksista musiikki- ja soittotunneilla sekä esimerkiksi oman harrastuneisuuden parissa. Soitinrakennusala on jollain tasolla pystynyt vastaamaan haasteisiin, joita erityispedagogiikan ammattilaiset ja soittimien tarvitsijat ovat asettaneet niin soittoteknisesti kuin ergonomisesti. Luvussa 2.3 käsittelen aiempien soittimien teknisiä, ergonomisia ja ilmaisullisia ratkaisuja musiikkikasvatuksen ja erityispedagogiikan kontekstissa. Luvut 2.4, 2.5 ja 2.6 käsittelevät tutkimukseni perusteita soittimen käyttäjän lähtökohdista käsin.

2.1 Soitinrakennuksen tutkimus- ja kehitystyö

Kun valitsin tutkimusaiheeksi uuden soittimen kehittämisen, en arvannut, miten vaikeata olisi löytää siihen kirjallista materiaalia. Harva soitinrakentaja tai muu tutkija on kirjoittanut uuden soittimen kehitystyöstä julkista materiaalia. Luulenkin, että tiedot soittimen kehittämistä piileskelevät soitinrakentajien päivä- ja muistikirjoissa. Ei pidä myöskään unohtaa, että käytännön tekemisestä saatu tietotaito näkyy usein vain rakentajan omissa toiminnoissa.

Tällaista tietoa kutsutaan hiljaiseksi tiedoksi. Perinteisesti tietoyhteiskunnassa käsite tieto on määritelty ulkonaiseksi informaatioksi, jota ihminen voi käyttää. Hannele Koivunen määrittää kirjassaan hiljaisen tiedon olevan kokonaisvaltaista ihmisessä läsnä olevaa tietoa, ”käsien taitoa, ihon tietoa ja aivojen syvien kerrosten tietoa”.¹

¹Koivunen, Hannele: Hiljainen tieto. Helsinki 1997, s. 79, 212. Otava.

Soitinrakennusala seuranneena olen huomannut, että rakentajat haluavat pitää kehitystyön mieluummin omana tietonaan kuin jakaa sitä auliisti ja ymmärrettävässä muodossa. Toki poikkeuksiakin on. Valmiista soittimista on kirjoitettu paljonkin, mutta siitä, miten niihin on päädytty, ei ole.

Internetkin tarjoaa monenlaista tietoa soitinrakennuksesta. Monet soitinrakennusta harrastavat ja myös ammatikseen tekevät ovat saattaneet tehdä videoita ja blogeja erilaisten soittimien rakennuksesta. Videopalvelu Youtube tarjoaa noin 34 000 hakutulosta sanoilla ”how to build musical instrument”². Useimmissa videoissa ei ole kuitenkaan vastattu kysymyksiin miksi ja miten? Näin ollen periaatteet soittimen mitoituksista ja toiminnasta jäävät katsojalta hämärän peittoon, mikäli hänellä ei ole tietoa soittimen toiminnasta etukäteen. Toisaalta videoiden tarkoitus on selventää kansantajuisesti ja lyhyesti jonkin soittimen rakennusprosessi, joten ne puoltavat hyvin paikkansa rakentamisen itseopiskelun ja sitä kautta varsinaisen soittimen rakentamisen oppaana. Kuten kirjallisuudessaakin, löytyy blogeissa ja videoissa myös poikkeuksia. Ongelmaksi voi muodostua Internetin valtava tietomäärä. Oleellisen informaation löytäminen ja väärrien tai puutteellisten tietojen suodattaminen vaatii jonkin verran taustatietoa etsittävästä aiheesta.

Suuren osan soitinrakennusta käsittelevästä kirjallisuudesta muodostavat soitinrakennusoppaat. Kansalliskirjaston Melinda-tietokannasta löytyy 262 viitettä hakusanalla soitinrakennus³. Näistä reilu parikymmentä oli pääasiassa ”näin teet soittimen” -tyylisiä oppaita. Tällaisia vaihe vaiheelta kirjoitettuja ja usein reilusti kuvitettuja oppaita on kirjoitettu eniten kielisoittimista. Tämä on luonnollista, koska harvalla kotirakentajalla on mahdollisuus vaikkapa metallin pakottamiseen, jota voisi tarvita esimerkiksi tehdessä puhallinsoittimia. Melindassa on Suomen yliopistokirjastojen tietokannat, joten tutkimusten ja historiallisten teosten määrä korostuu. Esimerkiksi Oulun kaupunginkirjaston kokoelmasta hakusanalla soitinrakennus löytyi 141 viitettä, joista 36 oli soitinrakennusoppaita, lisäksi eri soittimien työpiirustuksia oli 27⁴. Eniten soitinrakennusoppaita on kokemukseni mukaan tarjolla erilaisista kitaroista.

Soitinrakennusoppaiden tutkiminen on hyödyllistä kehitettäessä uutta soitinta. Jos kysymyksessä ei ole täysin puhtaalta pöydältä kehitelty soitin, vaan pikemminkin päivitys tai

²www.youtube.com (viit. 14.4.2013).

³melinda.kansalliskirjasto.fi (viit. 19.3.2013).

⁴www.ouka.fi/kirjasto (viit. 19.3.2013).

niin kuin tässä tutkimuksessa – kahden eri soittimen kehitelty ja yksinkertaistettu yhdistelmä – voi soitinrakennusoppaista havainnoida kunkin soittimen keskeisiä ominaisuuksia. Kuitenkin soitinoppaita pitää tarkastella tietyllä kritiikillä, sillä ne käsittelevät yhden soitintyyppin tai tietyn mallin rakentamista, ja juuri siinä mallissa olevat ominaisuudet eivät välttämättä ole siirrettävissä toiseen soittimeen. Myöskin soitinrakennukseen liittyvää musiikkia viljellään oppaissa, eikä kaikkia työtapoja käsitellä avoimesti. Työtapojen ja metodien kriittinen tarkastelu on jossain määrin järkevää, ainakin jos niitä ei ole perusteltu. Tällä tarkoitan ”näin viulun kansi on tehty aina” -tyyppisiä ohjeita. Menetelmien ja työtapojen merkityksen tarkastelu on useimmiten jäänyt soitinrakennusoppaissa pinnallisemmalle, vain kyseissä opuksissa käsiteltyjen soittimien tasoille, ja niiden yleistettävyyks on näin ollen hankalaa.

Yhtä soitintyyppiä käsittelevien opusten lisäksi on myös yleisluontoista soittimien rakennusta käsittelevää kirjallisuutta, joissa esitetään musiikillisia ja akustisia perusteita soittimien rakentamiselle. Tällaisia ovat lähdemateriaalinakin olevat Bart Hopkinin *Musical instrument design* ja Cris Forsterin *Musical Mathematics*. Hopkinin teos on monipuolinen yleisopas, jossa käsitellään perusasioita eri soitintyyppien tekemisestä. Kirjassa on myös käsitelty rakennusta musiikkikasvattajalle hyödyllisten kierrätyssoittimien näkökulmasta. Forsterin kirja käsittelee pääasiassa  äänilähteiden ominaisuuksia ja erilaisia viritysjärjestelmiä.⁵

Suomenkielistä soitinrakennuksesta tehtyä tutkimusta on rajallinen määrä. Toinen ongelma on käsite soitinrakennuksen tutkiminen. Soittimia on kyllä tutkittu monista eri näkökulmista, kuten vaikkapa akustiikan⁶ tai soitinrakentajan⁷ näkökulmasta. Ongelmana on kuitenkin se mitä soitinrakennusta tutkiessa oikeastaan tutkitaan. Onko se soittimen rakennusprosessin, soittimen kehittämisen, soittimen ominaisuuksien vai soitinrakentajan henkilön ja työtapojen tutkimista? Tässä tutkimuksessa valittu design-tutkimuksen tapa toimia tekee tutkimuksestani hyvin kokonaisvaltaista. Tällöin voi ajatella tutkimuksen sisältävän kaikkia edellä mainittuja аспектеjä soitinrakennuksen tutkimisesta. Enimmäkseen kuitenkin se keskittyy kehittämiseen ja ominaisuuksien tutkimiseen. Jollain tavalla tutkimus on siitä erityinen, että se keskittyy soittimen kehittelyyn ennen sen valmistumista, eikä niinkään jo

⁵Hopkin, Bart: *Musical Instrument design*. Tucson 1996. See Sharp Press; Forster, Cris: *Musical mathematics*. San Fransisco 2010. Chronicle books.

⁶Kastinen: *Erään 15-kielisen kanteleen akustisesta tutkimuksesta*. Helsinki 2000. Sibelius-Akatemia.

⁷Nieminen, Rauno: *Soitinten tutkiminen rakentamalla*. Helsinki 2008. Sibelius-Akatemia.

tehdyn soittimen testaukseen ja jatkokehitykseen. Vaikka uuden soittimen tapauksessa syvällinen tutkimustyö ennen soittimen prototyyppien valmistamista on aina tarpeen, monesti enemmän tietoa siitä, mihin suuntaan soitinta pitää kehittää, saadaan vasta prototyyppien koesoittojen ja testausjaksojen aikana. Tämä pätee varmasti myös mihin tahansa muuhunkin innovatiiviseen tuotteeseen.

Nieminen tutkii väitöskirjassaan soittimia rakentamisen näkökulmasta. Työ jakaantuu kolmeen osaan, jonka käytännöllisessä osassa hän rakentaa kopioita museojouhikoista. Toinen osa sisältää jouhikonsoitto-oppaan ja kolmas kirjallinen osa esittelee tutkimusta, sen taustaa ja soitinkopiointimenetelmää, jonka Nieminen on kehittänyt⁸.

Nieminen toimii myös Suomen ainoassa soitinrakennuskoulussa opettajana, joskin on tätä kirjoitettaessa virkavapaalla. Ikaalisten käsi- ja taideteollista oppilaitoksessa (Ikata) on kaksi soitinrakennuslinjaa. Kitaranrakennuslinja, joka tunnettiin aikaisemmin pelkkänä soitinrakennuslinjana, keskittyy kielisoittimien rakennukseen. Harmonikanrakennuslinjalla on kaksi suuntautumisvaihtoehtoa: rakennus ja huolto.⁹ Jonkin verran soitinrakentajiksi tul- laan myös oppisopimuksien kautta, mutta siitä ei ole julkaistu tilastoja. Lisäksi Ikata järjestää soitinrakentajakisällin ja -mestarin näyttötutkintoja.

Uusien soittimien kehittäminen vie paljon aikaa, ja monesti se vaatii hyvät resurssit niin tiedollisesti, taidollisesti kuin myös materiaalien ja työtilojen suhteen. Soitinrakentajan palkka muodostuu valmistuneista soittimista ja kehitystyöhön laitettu aika ja raha eivät konkretisoidu työn aikana vaan vasta sen jälkeen, kun varsinainen tuote on valmis. Tätä ongelmaa voi kuitenkin kompensoida mahdollisten tuotesuunnittelumaksujen tai ennakkomaksujen kautta. Se vaatii luottamuksen soittimen tilaajan ja rakentajan välillä. Mitä sitten tapahtuu jos en saakaan soitinta tai siitä ei tule mieleiseni? Tilanteet voivat kehittyä ongelmallisiksi. Oma kehitystyöni opinnäytetyön tapaan on mielestäni oiva tilaisuus saada tuloksia, ja vieläpä asiakkaan kannalta ilmaiseksi.

2.2 Soitintutkimus

Soittimeksi voidaan varhaiskeskiajan Euroopan käsityksen mukaan nimittää työkalu tai väline, jolla tehdään musiikkia. Tästä tulee myös englannin kielen sana musical tai music

⁸Emt.

⁹www.ikata.fi (viitattu 28.3.2013)

instrument¹⁰. Pitää myös muistaa, että laulajan ääntä voidaan kutsua hänen soittimekseen. Soittimia voidaan luokitella monin eri tavoin. Yksi luokittelutapa on Sachsin ja Hornbostelin klassinen luokittelu, jossa soittimet asetetaan luokkiin seuraavan järjestyksen mukaan¹¹:

1. Mikä on soittimen ominaisvärähtelijä?
2. Miten ääni saadaan syttymään?
3. Mikä on soittimen rakenne?
4. Minkä muotoinen soitin on?

Soittimen ominaisvärähtelijä voi olla koko soitin, kalvo, kieli tai liikkuva ilma. Näiden ominaisuuksien perusteella puhutaan vastaavasti idiofoneista (koko soitin), membranofoneista (kalvo), kordofoneista (kieli) ja aerofoneista (ilma).¹² Ääni voidaan sytyttää monella eri tavalla, lyömällä kalvoa, näppäilemällä kieltä, puhaltamalla putken päähän vain muutamia esimerkkejä mainitakseni. Tämän tutkimuksen soitin voidaan luokitella kordofoniksi, jossa on irtonainen koppa. Tämä tarkoittaa sitä, että soittimen kaikukoppa voidaan irrottaa ja soitin silti säilyy soittokuntoisena.

2.2.1 Äänen ominaisuuksia

Ääni on värähtelyä. Se voi ilmetä ilmaäänenä tai kappaleen värähtelynä. Normaalissa hengitysilmassa liikkeessaan ääni on ilmanpaineiden vaihtelua.¹³ Ilmaäänä voi kuulla, mikäli se on värähtelytaajuudeltaan kuulijan kuuloalueella. Ihmisellä kuuloalue ulottuu 20 hertsistä noin 20 kHz:iin. Tosin korkeampien taajuuksien kuuleminen vähenee jyrkästi sekä iän että muiden korvaa rappeuttavien muutosten myötä. Herkkyys kuulla ääniä on ihmisellä parhaimmillaan noin 100–10 000 Hz:n alueella.¹⁴

¹⁰Leisiö, Timo: Soitintutkimus. Helsinki 2003, s. 311. Teoksessa Eerola, Tuomas & Louhivuori, Jukka & Moisala, Pirkko (toim.): Johdatus musiikintutkimukseen. Suomen musiikkitieteellinen seura.

¹¹Sachs, Curt & von Hornbostel, Erich: Systematik der Musikinstrumente. Ein Versuch. Suom. Leisiö, Timo: Luonnollisten soitinten luokitusjärjestelmä. Musiikki no. 1-4. Helsinki 1974.

¹²Leisiö 2003, s. 314–317.

¹³Pölkki, Jyrki & Nieminen, Rauno: Soiton synty 1. Ikaalinen 2004, s. 38 ; Rossing, Thomas: The Science of sound. Illinois 1990, s. 40. Addison-Wesley.

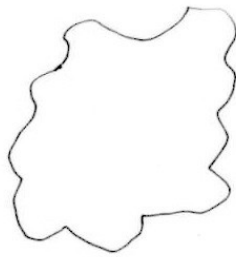
¹⁴Fletcher, Neville & Rossing, Thomas: The Physics of Musical Instruments. New York 1991, s. 139 ; Rossing 1990, s. 65-66.

Ääni kulkee eteenpäin eri nopeuksilla. Nopeus riippuu siitä, missä aineessa ääni kulkee. Normaalissa hengitysilmassa äänen nopeus on noin 330–340 m/s, riippuen ilman lämpötilasta.¹⁵ Tähän perustuu vanha konsti laskea ukkosrintaman etäisyys kuulijasta: Lasketaan välähdyksen ja jyrinän välinen aika sekunneissa ja jaetaan se kolmella, niin saadaan etäisyys kilometreinä.

Ainetta, jossa ääni kulkee, sanotaan väliaineeksi. Äänen tuottajaksi sanotaan värähtelijää tai äänilähdettä. Yleensä värähtelyllä on myös jokin vastaanottaja, joka voi olla esimerkiksi musiikin kuuntelija. Voidaankin sanoa, että ääni muodostuu kuulokuvaksi sen jälkeen, kun ihmisen kuuloelimet ovat sen rekisteröineet ja aistimus on syntynyt aivoissa. Tällöin voidaan ajatella äänen muodostumiselle olevan kolme edellytystä (kuva 1), äänilähde, väliaine ja vastaanottaja¹⁶.



Äänilähde



Väliaine



Vastaanottaja

Kuva 1. Äänen muodostumisen edellytykset.

Ääni pystyy kulkemaan kaikissa materiaaleissa, joilla on massaa ja elastisuutta¹⁷. Tyhjiöllä ei ole massaa eikä ääni siellä liiku. Myöskään täydellisen jäykkä kappale ei johda ääntä. Se ei itsessään pysty värähtelemään. Jäykkä kappale voi silti tuottaa ääntä vaikkapa pyörimällä ilmatilassa oman akselinsa ympäri. Käytännössä kaikki materiaalit, joilla on massaa, vä-

¹⁵Rossing 1990, s. 40 ; Nieminen 2004, s. 39.

¹⁶Nieminen 2004, s. 33.

¹⁷Fletcher 1991, s. 139.

rähtelevät jonkin verran.¹⁸ Ääni on aina jonkinlaista aaltoliikettä. Yksinkertaisimmillaan sinimuotoinen ääniaalto voidaan määritellä ilman tihentyminä ja harventumina ajan suhteen:

$$y(t) = C \sin(2\pi ft + \varphi) \quad , \text{ jossa}$$

$y(t)$ = poikkeama tasapainosta ajan hetkellä t

C = värähtelyn voimakkuus eli amplitudi, aallon mukaan

f = frekvenssi eli taajuus

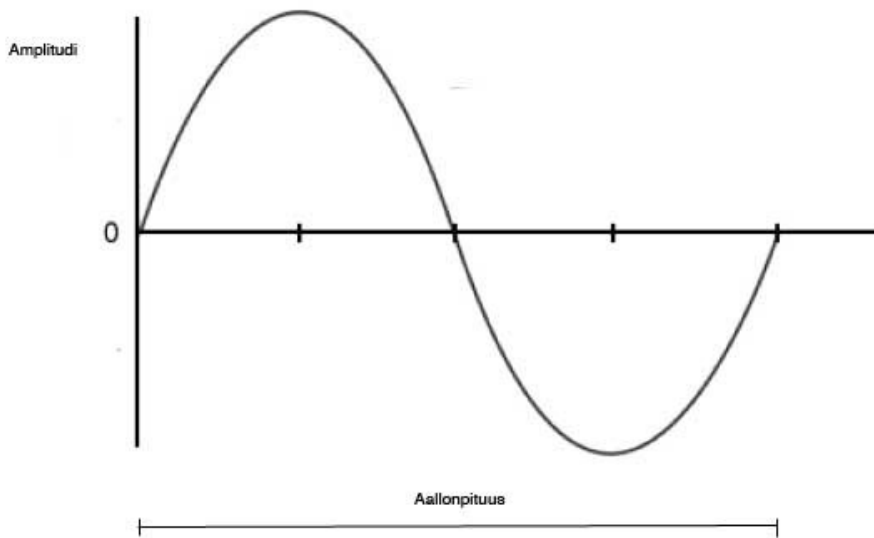
φ = värähtelysyklin vaihe

Tämä ääni on siniääni tai yksinkertaisemmin puhdas äänes.¹⁹

Jatkuvaa ääntä kuvaava sinifunktio muodostaa yhtenäisen aallon, jolle voidaan määrittää voimakkuus eli amplitudi sekä aallonpituus, katso kuva 2. Aallonpituus on graafisesti esitettyssä aallossa etäisyys tietyistä vaiheesta saman vaiheen seuraavaan esiintymiseen. Taajuus saadaan jakamalla äänen nopeus väliaineessa aallonpituudella. Tällöin huoneilmassa esimerkiksi 10 metriä pitkän ääniaallon taajuus on noin 34 Hz.

¹⁸Nieminen 2004, s. 32.

¹⁹Rossing, Thomas: The Handbook of Acoustics. New York 2007, s. 504. Springer.



Kuva 2. Siniaallon kuvaus graafisesti.

Aallonpituus vaikuttaa äänen kantautuvuuteen. Matalat äänet, joilla on suuri aallonpituus, kulkevat pitemmälle kuin korkeat äänet. Tämä johtuu siitä, että ääniaaltoon ei vaikuta suuressa määrin sitä itseään paljon pienemmät kappaleet. Silloin se ei myöskään hajoa tai heijastu kappaleesta.²⁰ Kerrostaloissa matalat äänet kulkevat vaikka talon toisesta päästä toiseen, kun taas korkeat heijastuvat betoniseinistä ja absorboituvat ennen kuin ehtivät naapurin korviin.

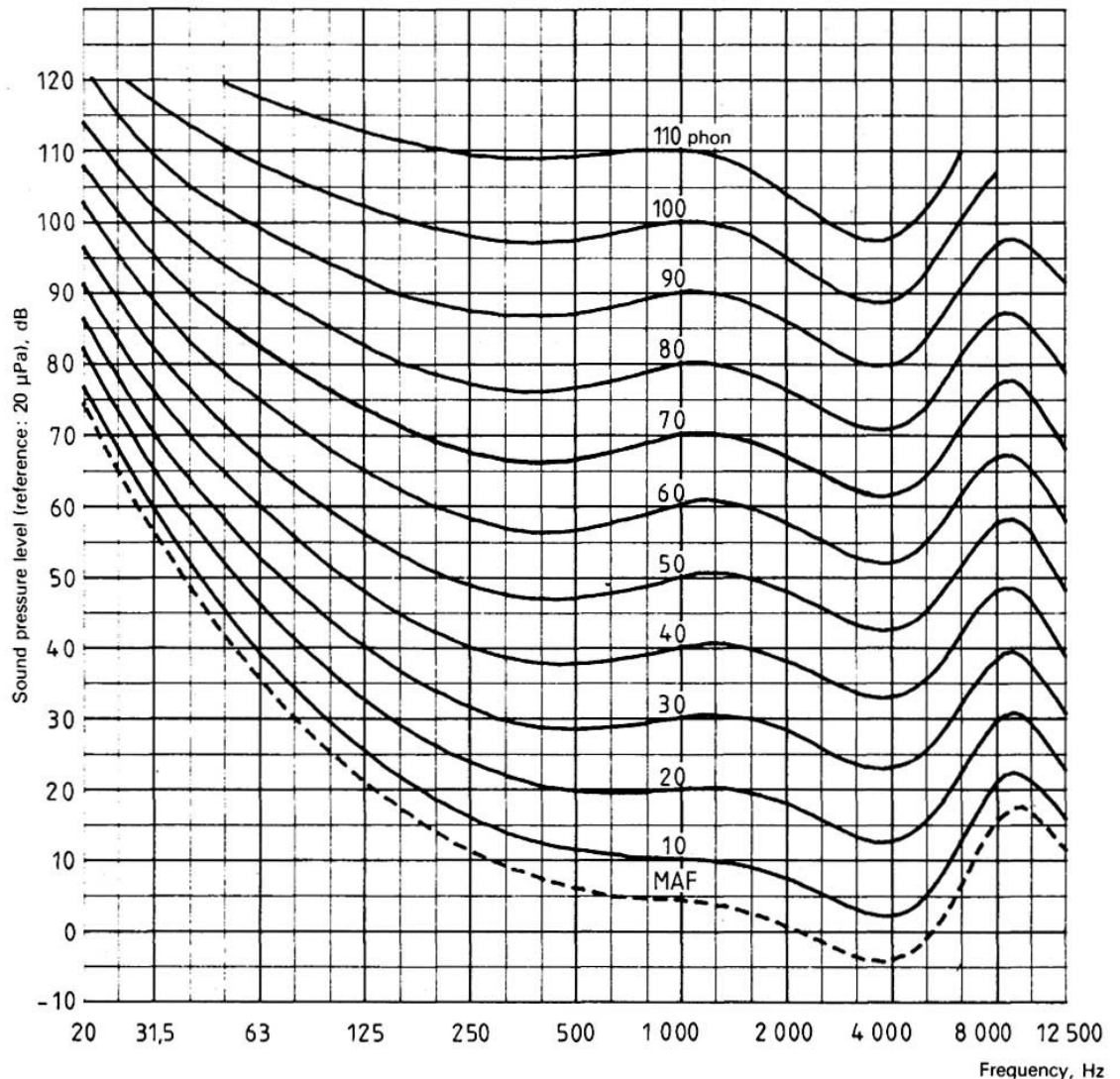
Äänen voimakkuudesta puhuttaessa käytetään yleensä samaa käsitettä, joka tarkoittaa äänenpainetasoa. Äänenpainetta kuvaava yksikkö on desibeli, ja se on logaritminen. Desibeli yksikkönä on kahden saman suureen vertailuarvo. Sillä voidaan määrittää äänenpainetaso. Tällöin ilmoitettua arvoa esitetään suhteessa vertailuarvoon, kuten hiljaisimpaan ääneen, jonka ihminen keskimäärin kuulee. Tätä tasoa sanotaan kuulokynnykseksi ja se on 0 dB SPL (Sound Pressure Level). Käytännössä logaritminen asteikko tarkoittaa äänen tehon kaksinkertaistumista aina, kun äänenpainetaso kasvaa 3 dB²¹. Tarve logaritmiseen asteikkoon johtuu ihmisen kuulon dynamiikan epälineaarisuudesta. Ihmisen korvan erottama äänen intensiteetin – eli tehon suhteen pinta-alaan – ääripäiden ero on biljoonakertainen. Ihmisellä kuuloalue on noin 0 – 120 dB SPL.²² Äänen intensiteetin ylittäessä kuuloalueen puhutaan myös kipukynnyksen ylittymisestä. Pitää muistaa, että ihmisellä kuulo ei ole li-

²⁰Nieminen 2004, s. 39.

²¹Rossing 1990, s. 85-90.

²²Fletcher 1991, s. 145.

neaarinen eli eri taajuudella olevat äänet vaativat enemmän tehoa, jotta ne kuultaisiin yhtä hyvin.²³ Kuva 3 havainnollistaa kuulon epälineaarisuutta.



Kuva 3. SFS-ISO 226. Vakioäänekkyyskäyrät. Suomen Standardisoimisliitto SFS. 1989, s.4.

Kuultavat äänet eivät koskaan ole täysin puhdasta siniääntä. Yleensä ääni muodostuu eri ääneksien yhdistelmästä ja niissä tapahtuvista jaksottomista värähtelyistä. Tällaisia ääniä kutsutaan kompleksiksi ääniksi.²⁴ Kun äänen aaltomuodossa tapahtuu toistuva liike, oli se sitten yksinkertainen tai kompleksinen, voidaan aaltomuodon sanoa sisältävän sävelen. Tällöin värähtely on jaksollista eli periodista. Mikäli äänessä ei ole jaksollisuutta, se on epäpe-

²³Rossing 1990, s. 92 ; Fletcher 1991, s. 145

²⁴Nieminen 2004, s. 42.

riodista, kuten hälyääniä tai kohinaa.²⁵ Sävelellä tarkoitetaan äänestä kuultua sävelkorkeutta. Yksinkertaisessa siniäänen tapauksessa sävel määrittyy sinifunktion taajuuden mukaan.²⁶ Sävelellä on myös kesto ja voimakkuus²⁷. Kompleksissa jaksollisissa äänissä äänenkorkeus on eri ääneksistä koostuva kuulokuva. Tällöin voidaan mahdollisesti kuulla perussävel harmonisten osäänensten kautta, vaikka kokonaisäänestä olisikin poistettu perusääni.²⁸

2.2.2 Äänessä kuultavia ominaisuuksia

Äänellä on taajuuden lisäksi muitakin ominaisuuksia, jotka ovat kuultavissa. Äänenväri eli sointi on se ominaisuus äänessä, josta erotamme eri soittimet toisistaan²⁹. Kaikilla soittimilla sekä laulu- ja puheäänissä on erilainen sointi. Siihen vaikuttavat osääneukset, kun niin sanottu perusäänes määrää tavallisimmin äänenkorkeuden.

Mikä sitten määrää, että trumpetti kuulostaa juuri trumpetilta, vaikka jossain toisessa soittimessa olisi samat osääneukset? Tähän vaikuttaa osääneuksien voimakkuus. Osääneuksiin vaikuttavat muun muassa soittimen rakenne ja materiaali. Osääneuksista voidaan rakentaa mikä tahansa kompleksi ääni. Tätä kutsutaan additiiviiseksi synteesiksi.³⁰ Synteesimenetelmässä käytetään Joseph Fourierin esittämää matemaattista teoriaa, jonka mukaan jokainen jaksollinen kompleksi funktio voidaan esittää yksinkertaisempien trigonometristen funktioiden summana³¹.

Puhallinsoitin kuulostaa erilaiselta kuin rumpu. Jotkin soittimet voivat kuulostaa silti toisiltaan, vaikka ne olisivat eri soitinryhmistäkin. Myös soittaja voi vaikuttaa soittimensa sointiin. Mikäli joku osäänes korostuu, vaikuttaa se myös äänen sointiin, kuten vaikkapa kirkkauteen. Kielisoittajat voivat näppäillä kieliä eri kohdista kieltä tai käyttää vaikkapa plekttraa, jolla voidaan saada aikaan esimerkiksi terävä tai iskevä ääni.

²⁵Nieminen 2004, s. 39–40.

²⁶Rossing 1990, s. 114.

²⁷Rossing 1990, s. 112–113.

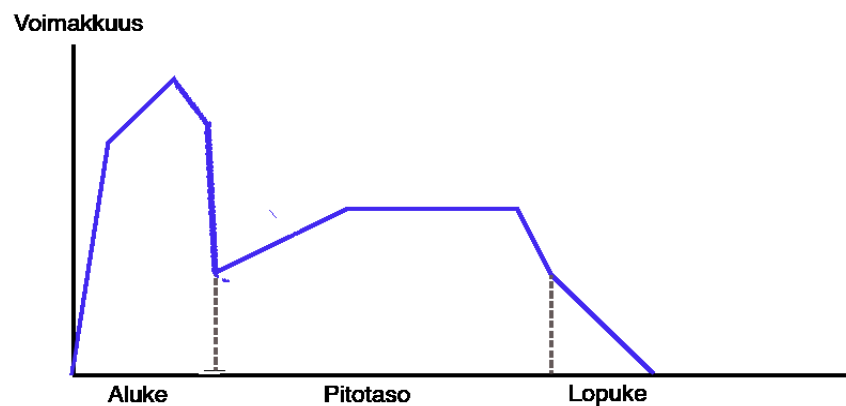
²⁸Rossing 1990, s. 114.

²⁹Rossing 1990, s. 125.

³⁰Miranda, Eduardo. Computer Sound Design: Synthesis techniques and programming. Oxford 2002, s.234–235. Focal Press.

³¹Risset, Jean-Claude. Paris 1993, s. 43–65. Synthèse et matériau musical. Teoksessa D. Cohen-Levinas (toim.), La synthèse sonore, Les cahiers de l'IRCAM 2. IRCAM.

Kuultavalla äänellä on tietty kesto. Se alkaa, soi ja päättyy. Tämän ilmiön kuvaajaa kutsutaan äänen verhokäyräksi. Verhokäyrä kuvaa äänen voimakkuutta suhteessa aikaan. Voidaan puhua myös alukkeesta, pitotasosta ja lopukkeesta. Alukkeen aikana äänenvoimakkuus nousee huippuunsa, jonka jälkeen se laskee pitotasolle. Aluke on myös hyvin tärkeä soittimen tunnistettavuudelle.³² Alukkeessa äänenvoimakkuuden lisäksi vaihtelevat eri osasävelten suhteet, joten nekin vaikuttavat tunnistettavuuteen³³ Jos esimerkiksi trumpetin ja pianon samasta soitetusta äänestä leikataan aluke pois, on soittimia hyvin vaikea tunnistaa toisistaan kuuntelemalla. Pitotasolla tarkoitetaan sitä aikaa, kun sävel kuullaan tasaisen voimakkaana. Lopuke muodostuu, jos ääni sammuu ennen kuin sen energia ehtii loppua vaimentumalla.³⁴ Jos äänilähteen annetaan soida vapaasti, niin se vaimentuu lopulta kuulumattomiin ja lopuketta ei ole. Sen sijaan vaikkapa jousisoittimen kieleen siirtyy energiaa niin pitkään kun josta vedetään ja jousen pysähtyessä kielelle, syntyy lopuke. Pianossa lopukkeen muodostumisen aiheuttaa kielikohtainen sammuttaja, joka laskeutuu kielelle koskettimen noustua ylös. Verhokäyrässä on pitotaso, jossa äänen voimakkuus on kohtuullisen pysyvä. Laskuaika on nousuajan eli alukkeen korkeimman voimakkuuden laskun matka pitotasolle. Päästöaika taas kuvaa äänen vaimenemista pitotasosta kuulumattomiin. Kuvassa 4 on esitetty malli yksinkertaisesta verhokäyrästä.



Kuva 4. Yksinkertaistettu verhokäyrän malli.

³²Nieminen 2004, s. 48-49 ; Rossing 1990, s. 130-131.

³³Rossing 1990, s. 131.

³⁴Nieminen 2004, s. 48-49.

Kaksi tai useampi ääntä samassa tilassa vaikuttavat toisiinsa. Tätä kutsutaan interferenssiksi. Erityisen interferenssistä tekee se, miten äänet ovat verrattuna toisiinsa eri vaiheissa. Jos äänet ovat vastakkaisessa vaiheessa, ne pyrkivät kumoamaan toisensa. Tällöin ilmassa kulkevan äänen painetihentymä kohtaa paineen harventuman, ja ne kumoavat toisensa. Samassa vaiheessa olevat kaksi ääntä vahvistavat toisiaan.³⁵ Jos kaksi ääntä on taajuuksiltaan hyvin lähellä toisiaan, aiheuttaa se huojusta ääneen. Tämän aiheuttaa yhteisäänikuvassa olevan äänten vaiheiden vaihtelu.³⁶

2.3 Soitinrakennus ja erityismusiikkikasvatus

Miten siis soitinrakennus ja musiikkikasvatus liittyvät toisiinsa? Voi ajatella, että soittaminen tarvitsee aina jonkinlaisen soittimen. Soittimen on tehnyt soitinrakentaja tai se voi olla itse tehty. Ei pidä unohtaa, että myös tehdasvalmisteiset soittimet ovat ainakin soitinrakentajan suunnittelemlia. Soittimia käytetään musiikintunnilla musiikin tuottamiseen. Aivan uuden ja soittajaa palvelevan ja hänen erityistarpeensa huomioivan soitinrakentamisen tuotteen tekemisen prosessi kiinnostaa varmasti kaikkia musiikkikasvattajia. Erityisesti musiikin aineenopettajat ja erityismusiikkikasvattajat ovat mitä luultavimmin kiinnostuneita välineistä, joilla heidän ja oppilaan musiikintuottamista voidaan kehittää ja monipuolistaa. Tarkoitukseni on myös kehittää tutkimustyöni jälkeen omaa yrittäjyyttäni vastaamaan erityisiin tarpeisiin. Näitä ominaisuuksia ovat mm. muuntautumiskyky sekä monipuoliset rakennusmenetelmät. Myös tietotaito erikoisoppilaista ja erityisoppijoista on tarpeen.

Ruskeasuon koulu Helsingissä panostaa siihen, että kaikki oppilaat osallistuvat soittamiseen musiikintunnilla. Juha Salo, musiikkiterapeutti ja Ruskeasuon koulun musiikinopettaja, toteaa että oppilas saa elämyksellisen kokemuksen soittaessaan ryhmässä. Tämä vaatii kuitenkin monien kohdalla ”erikoisjärjestelyjä ja tavanomaisten soittimien mukauttamista vamman tai rajoittuneen toimintakyvyn asettamiin vaatimuksiin”.³⁷

Musiikkikasvattajalle termit integraatio ja inklusio tulevat tutuksi erityispedagogiikan luennoilla ja viimeistään työelämässä. Termillä integraatio tarkoitetaan yksilön mahdollisuutta osallistua yleisopetukseen. Tämä kuitenkin ei tapahdu automaattisesti, vaan vaatii

³⁵Rossing 1990, s. 38–39.

³⁶Nieminen 2004, s. 51.

³⁷Salo 2011, s.16.

aina opettajien ja viranomaisten tuen. Tärkeimpänä tavoitteena on se, että haastava oppilas voisi osallistua opetukseen mahdollisimman paljon yleisopetuksen kanssa. Tällöin tarve erityisopetukseen vähenee. Inklusion päälähtökohtana on kaikkien oppilaiden osallistuminen yhdessä koulun opetukseen. Tämä tarkoittaa sitä, että opetus on mukautettu joka oppilaan tason mukaan. Inklusion tavoitteena on poistaa esteitä oppimiselle ja osallistumiselle.³⁸ Inklusiivisen koulumallin suosion kasvaessa opetuksen mukauttaminen jokaiselle oppilaalle tulee olemaan haastavaa kaikilla tunneilla. Tällöin soittajalle sovitettu ja mukautettu opetusmateriaali ja opetusvälineet varmasti puoltavat paikkansa opettajan työn helpottamiseksi.

Musiikin erityispalvelukeskus Resonaarin johtaja MuM Markku Kaikkonen haluaa edistää inklusiivista musiikinopetusta. Taiteen perusopetussuunnitelman muutokset 2005 antoivat mahdollisuuden opetuksen ja opetussuunnitelman yksilöllistämiseen oppilaan vamman tai sairauden aiheuttaman rajoitteen vuoksi. Opetuksen mahdollistaminen kaikille lisää oppilaiden tasa-arvoa. Kaikilla on oikeus opiskella. Kaikkonen korostaa, että jotkut oppilaat saattavat tarvita erikoissoittimia ja erityissovelluksia. Nämä mahdollistavat musiikinopetukseen osallistumisen vaikka muuten se olisi hankalaa tai jopa mahdotonta.³⁹

Juhani Räisänen tutkii väitöskirjassaan uuden soittimen kehittämistä itselleen. Hänen mukaansa oman soittimen kehityksessä tärkein näkökulma on se, mikä olisi parasta soittajan kannalta katsottuna⁴⁰. En tiedä yhtään akustista soitinta, joka olisi varta vasten kehitetty vastaamaan rajoitteisen henkilön musisoinnin tarpeita. Sen sijaan erilaisia ohjaimia, joilla voidaan joko ohjata erillistä elektronista äänilähdettä tai niihin integroitua syntetisaattoria, on olemassa. Ranskalaisessa Grenoblen teknologiainstituutissa on myös kehitetty kytkinkäyttösovelluksia akustisia soittimia varten⁴¹. Tämän projektin nimi AE2M tulee sanoista *Adaption Ergonomieque du Matériel Musical* eli suomeksi musiikillisen materiaalin ergonominen mukauttaminen. Projektissa kehitystyössä mukana olleet pitivät tosiasiallisen ja nähtävän soittimen läsnäoloa tärkeänä tekijänä. Tämä ei toteudu aikaisemmissa sovelluk-

³⁸ www.edu.fi/erityinen_tuki/yhteinen_koulu_kaikille (viitattu 3.4.2013)

³⁹ Kaikkonen, Markku: Kohti inklusiivista musiikinopetusta. Helsinki 2012, s. 28–33. Teoksessa Jordan-Kilki, Päivi & Kauppinen, Eija & Korolainen-Viitasalo, Eeva (toim.). *Musiikkipedagogin käsikirja*. Opetushallitus.

⁴⁰ Räisänen, Juhani: *Sormina – A new musical instrument*. Helsinki 2011, s. 133. Aalto University.

⁴¹ Thomann, Guillaume & Rasoulifar, Rahi & Museu, Matthieu, De Castro Perez, Diana: *Satisfying the need of the handicapped to aid design education: case study*. Brighton 2009. Grenoble Institute of Technology ; Veytizou, Julien & Xuereb, Hugo & Guillaume, Thomas: *Design of a clip product based on customer needs for playing acoustic music*. Bochum 2013. Grenoble Institute of Technology.

sisä, joissa soittamisen apuvälineillä tuotetaan äänet digitaalisten syntetisaattoreiden avulla.⁴²

Yksi mielenkiintoisimmista digitaalisen äänilähteen ohjaimista, joka on kehitetty hallittavaksi puhallusvoiman ja pään vertikaalisen liikkeen avulla, on hollantilaisen terapeutin ja muusikon Ruud van del Werin ja käyttäjien yhteistyön tulos. Tämänkin soittimen tarina on alkanut soittajan tarpeista. Hollantilainen My breath, my music Foundation on tehnyt työtä, jolla halutaan antaa mahdollisuuksia musiikin harrastamiseen rajoitteista huolimatta.⁴³

Kytkinsovellukset ovat tarkoitettu liikuntarajoitteisille musiikin harrastajalle. Tutustuin kytkinkäyttöiseen MIDI-ohjaimeen ollessani Kuopiossa Mäntykankaan koululla erityispedagogiikan tutustumisjaksolla keväällä 2011. Siinä erivärisiä pyöreitä painonappi-tyylisiä kytkimiä pystyi siirtämään eri paikkoihin, kuten vaikkapa pyörätuolin päätuen molemmille puolille. Tällä tavalla mitä tahansa midi-äänilähdettä voi ohjata kytkimien avulla.

MIDI tulee sanoista musical instruments digital interace. Se on 1980-luvulta peräisin oleva musiikkilaitteiden väliseen kommunikointiin tarkoitettu digitaalisten viestien standardi.⁴⁴

Kyseisessä ohjaimessa yhteen kytkimeen on mahdollista yhdistää yksittäisiä ääniä tai sointuja ja ohjaimeen pystyy liittämään kahdeksan kytkintä. Kytkinlaitteen on kehittänyt insinöörin opinnäytetyönään Ville Kohonen Savonia Amk:ssa Kuopiossa. Yksi laite on käytössä Mäntykankaan koululla ja yksi Helsingissä Ruskeasuon koululla⁴⁵. Vaikka tämä laite mahdollistaa eri äänilähteiden soittamisen, en kutsuisi sitä soittimeksi vaan pikemminkin soittamisen apuvälineeksi.

Soittamisen apuvälineiksi tai käyttöliittymäksi voi myös nimittää tablet-tietokoneista tuttuja kosketusnäytön välityksellä ohjattavia äänisyntetisaattoreita. Jos soittajan on hankala soittaa perinteistä soitinta, joko käsien liikkuvuuden rajoituksista, lihasvoiman puutteesta tai vaikkapa siitä syystä, että käyttäjä on pyörätuolissa, voi lähelle käyttäjää saatava ja hii- paisemalla toimiva ohjauspinta olla ainoa tapa soittaa. MEOK-koulutuksen myötä pääsin tutustumaan keväällä 2012 Helsingin Ruskeasuon koulun musiikkitoimintaan musiikinopettaja Juha Salonen opastuksella.

⁴²Veytizou 2013.

⁴³www.mybreathmymusic.com/(viitattu 29.3.2013).

⁴⁴www.midi.org (viitattu 27.4.2013).

⁴⁵Kohonen, Ville: Kytkinapuväline kosketinsoittimeen. Kuopio 2005, s.6. Savonia-AMK.

Tässä koulussa käytetään Applen iPad-tablet-tietokoneita ja niiden musiikkisovelluksia soittamiseen musiikintunneilla. Ruskeasuon koulu tekee myös yhteistyötä Sibelius-Akatemian, Lihastautiliiton ja Musiikin erityispalvelukeskus Resonaarin kanssa tabletin käytön mahdollisuuksien musiikin kanssa tutkimiseksi. Sibelius-Akatemian kanssa aloitettu yhteistyö tähtää sopivien musiikkisovelluksien kehittämiseen vammaisille soittajille.⁴⁶

Kolmas huomionarvoinen digitaalista äänilähdettä käyttävä soitin on Skoog, jota voisi kuvailla kuutiomaiseksi painikkeilla päällystetyksi ohjaimeksi. Sen erona muista painikeohjauksista on sen monipuoliset sensoritoiminnot. Skoogia voi koskea, puristella ja heiluttaa, ja se vaikuttaa ääniin, joita sillä tuotetaan.⁴⁷

Kuvionuottimenetelmä, jonka ovat kehittäneet yhteistyössä Kaarlo Uusitalo ja Markku Kaikkonen, antaa mahdollisuuksia oppia soittamaan tavallisilla soittimilla. Kuvionuottimenetelmässä tavalliset nuotit korvataan väreillä ja kuvioilla. Soittimiin on mahdollista kiinnittää vastaavat kuviot kunkin äänen kohdalle. Tämä helpottaa äänien löytämistä soittimista.

Tässä tutkimuksessa yritän käsitellä soitinrakennusta myös ajatellen yleistettävyyttä edellä olleiden soitin- ja sovellusesimerkkien tapaan, mutta erityisesti juuri soittimen tulevan käyttäjän henkilökohtaisia tarpeita ja rajoitteita huomioiden.

2.4 Kehitysvammaisuus ja Downin syndrooma

Kehitysvammaisuus asettaa omat haasteensa ja mahdollisuutensa soittimen rakentamiselle. Kehitysvammaisella henkilöllä on heikentynyt toimintakyky jollain alueella. Tämä voi johtua synnynnäisestä tai kehitysvaiheessa tulleen sairaudesta, haitasta tai vammasta. Vammalla tarkoitetaan pysyvää psyykkistä tai fyysistä toimintakyvyn puutetta, joka estää henkilön kykyä suorittaa asioita. Älyllinen kehitysvammaisuus on Maailman terveysjärjestön mukaan tila, jossa henkisen suorituskyvyn kehittyminen on epätäydellinen tai estynyt. Nämä puutteet ilmenevät yleisen henkisen suorituksen alueella, johon kuuluvat sosiaaliset, kielelliset, motoriset ja tiedolliset taidot.⁴⁸

⁴⁶Salo, Juha: iPad apuna soittamisessa. Helsinki 2011. s. 16. Ruskeasuon koulun vuosijulkaisu 2.

⁴⁷www.skoogmusic.com

⁴⁸Kaski, Markus (toim.) & Manninen, Anja & Pihko, Helena: Kehitysvammaisuus. Helsinki 2012, s. 15–16. Sanoma Pro.

Älyllinen kehitysvammaisuus jaetaan vaikeusasteisiin vastaavan normaalin kehityksen älykkyyksiän oheisen taulukon mukaisesti.

Taulukko 1. Älyllisen kehitysvammaisuuden aste. Kaski 2012, s.18.

Älyllisen kehitysvammaisuuden aste, WHO:n mukaan.	ÄO	Älykkyyssikä (v)
Lievä (retardio mentalis levis)	50–69	9–11
Keskivaikea (retardio mentalis moderata)	35–49	6–8
Vaikea (retardio mentalis gravis)	20–34	3–5
Syvä (retardio mentalis profundis)	<20	0–2

Downin syndrooma on ihmisen kromosomin 21-trisomiasta johtuva kehitysvammaisuuden muoto. Trisomialla tarkoitetaan kromosomiparin korvaantumista kolmella kromosomilla. 21-trisomia on yksittäisistä kehitysvammaisuuden syistä suurin. Downin oireyhtymä on noin 10 prosentilla kehitysvammaisista. Down-henkilölle on tyypillistä lyhytkasvuisuus ja myös sormien lyhyys. Aikuiset ovat usein älyllisesti keskivaikeasti tai vaikeasti kehitysvammaisia. Tämä ei kuitenkaan välttämättä tarkoita musiikillisten kykyjen puuttumista. Down-henkilöt ovat monesti musikaalisia ja heillä on hyvä rytmitaju.⁴⁹

2.5 Soittajan tarpeet ja rajoitteet

Soitintilaus oli minulle erityinen, koska minun haluttiin kehittävän aivan uudenlainen soitin. Tilauksesta teki merkittävän myös kohdehenkilö, jolle soitin rakennetaan. Riitta on kehitysvammainen ja pienikokoinen henkilö. Hänellä on todettu 21-trisomia eli Downin oireyhtymä. Siihen kuuluu kehon yliliikkuvuutta ja lihasjänteiden puutetta⁵⁰. Tämä asettaa omat haasteensa myös soittimen suunnittelulle.

Riitalle on tärkeää saada oma soitin. Päivi-Liisa Hannikainen korosti erityisesti yhteissoiton tärkeyttä perheen kesken. Riitan on aikaisemmin ollut hankalaa tai lähes mahdotonta osallistua hieman vaativampaan yhteissoittoon. Päivi-Liisan ja Riitan kanssa soitinta suunniteltaessa syksyllä 2011, sovittiin sen olevan kitaraa muistuttava ja kolme eri sointua mahdollistava. Soinnuiksi sovittiin duurimoodin pääsointuasteet I – IV – V niiden yleisyy-

⁴⁹Kaski 2012, s. 65–66.

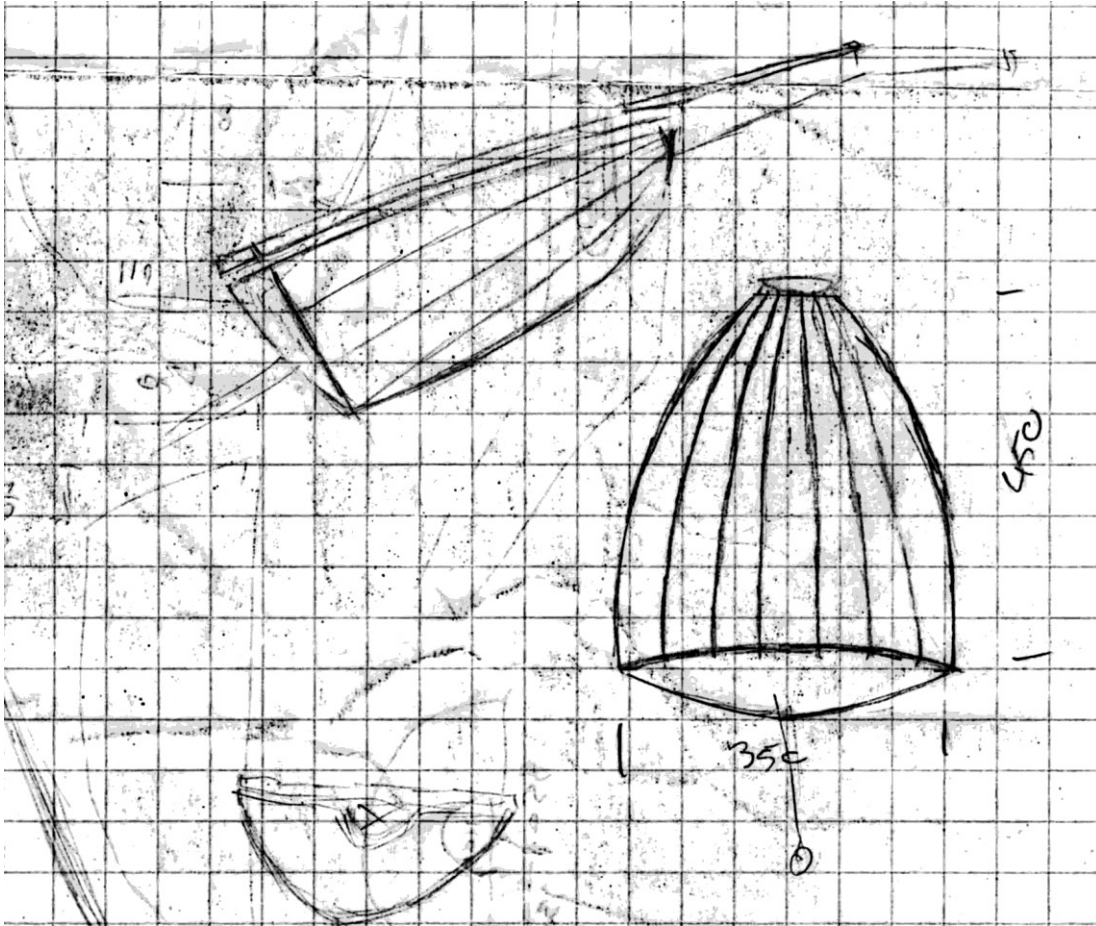
⁵⁰Grönstrand, Eeva: Kuopiossa soi: Riitta Hannikainen laulaa tunteella ja taidolla. Helsinki 2007. Kehitysvammaliitto ry:n aikakauslehti 3/2007.

den takia. Toki mikään ei estä virittämästä esimerkiksi ensimmäisen asteen terssiä molli-terssiksi. Lisäksi tilaaja halusi dominanttisoinnusta nelisoinnun septimillä ja minä ehdotin ensimmäiseen asteeseen oktaavia alempaa lisäperussäveltä tehokkuuden lisäämiseksi toonikaan.⁵¹

Soittimen muotoilun perusajatukset lähtivät tilaajan toiveista saada tyttärelleen kitaran tyyppinen soitin, jota pidettäisiin sylissä. Soittimen käyttäjä haluaa soittaa kitaraa, koska hän on ihaillut veljensä kitaransoittoa⁵². Ehdotin pohjan muodoksi luuttutyypistä kulhora-kennetta, koska se on neliskanttista mukavampi ja halusin myös kokeilla segmenttirakenteen toteuttamista. Segmenttirakenteella tarkoitan luutuista tuttua kopan rakentamista puusuikaleista. Erona tavalliseen luuttuun on kuitenkin erillinen takaosa, jonka ajattelin helpottavan rakennustyötä. Tällöin segmenttirakenne ei jatku soittimen peräosaan asti, vaan sen korvaa prototyypin tapauksessa vanerinen levy. Segmenttejä eri tarvitse kääntää niin tiukalle mutkalle, kun ne päättyvät soittimen kopan paksuimmassa osassa. Soittimeen ei haluttu otelautaa nauhoineen vaan kieliryhmät, jotka olisi helppo soittaa. Tällöin soittajan ei tarvitse käyttää toista kättään painamaan sointuja otelaudalta, vaan kaikki soinnut ovat soitettavissa vapailla kielillä. Koko soittimen muotokieli lähti yhdessä asiakkaan kanssa käytyjen keskustelujen ja kuvaesimerkkien pohjalta. Hahmottelin ensimmäistä kertaa soittimen ulkomuotoa paperille syksyllä 2011, katso kuva 5.

⁵¹Hannikainen, Päivi-Liisa. Suullinen tiedonanto 2011.

⁵²Hannikainen, Päivi-Liisa. Suullinen tiedonanto 2013.



Kuva 5. Lyijykynähahmottelua syksyllä 2011.

Soittimen kannen rakenne tulisi olemaan reunoistaan vapaa tasovärähtelijä. Tämä tarkoittaa sitä, ettei kantta ole kiinnitetty koppaansa reunoista niin kuin tavallisessa kitarassa. Tällaisen rakenteen olen todennut olevan toimiva äänen voimakkuuden ja laadun suhteen. Vapaareunaista tasovärähtelijää käytettäessä saadaan myös soittimen rakenteesta vahvempi verrattuna normaalin kitaran rakenteeseen. Koska soittimen kansi ja koppa eivät muodosta yhtenäistä värähtelijää, voidaan ne tehdä tukevammin, paksummista materiaaleista. Soittimen tilaaja painotti kestävyyttä koska soittimen käsittely saattaa olla kovakouraista tai soitin saattaa helposti pudota soittajalta⁵³. Tasovärähtelijää on käyttänyt ja kehittänyt Jyrki Pölkki Soitinrakentajat AmF:sta Kirjokansi-kanteleissaan. Näihin kanteleisiin olen päässyt perinpohjaisesti tutustumaan työharjoittelussani sekä myöhemmin työskennellessäni Lepävirralla.

⁵³Hannikainen 2011.

2.6 Arvot ja periaatteet

Toukokuussa 2006 annettiin Suomen eduskunnalle vammaispoliittinen selonteko hallituksen toimesta. Siinä listataan kolme perusperiaatetta vammaisen henkilön oikeuksista:

- Vammaisilla henkilöillä on oikeus yhdenvertaisuuteen. Yhdenvertaisuus on keskeinen ihmisoikeus, joka kuuluu kaikille. Keskeisenä lähtökohtana on syrjimättömyys.
- Vammaisilla henkilöillä on oikeus osallisuuteen. Osallisuus edellyttää, että vammaiset henkilöt osallistuvat kaikkeen heitä koskevaan suunnitteluun ja päätöksentekoon. Tämä toteutuu, kun koko yhteiskunnassa asiaan suhtaudutaan myönteisesti.
- Vammaisilla henkilöillä on oikeus tarpeellisiin palveluihin ja tukitoimiin. Tämä tarkoittaa sitä, että vammaisilla henkilöillä on käytännössä samat oikeudet kuin ei-vammaisilla ihmisillä ja tosiasiallinen mahdollisuus osallistua yhteiskuntaan täysivaltaisesti. Myös epäsuora syrjintä loukkaa ihmisten tosiasiallista yhdenvertaisuutta.⁵⁴

Olen keskustellut MuT Päivi-Liisa Hannikaisen kanssa useita kertoja siitä, miten oma henkilökohtaisen soittimen saaminen kehitysvammaiselle on hyvin tärkeää. Hänen mielestään kehitysvammaisen vanhemmat tai huoltajat eivät uskalla kysyä mahdollisuutta saada harrastusvälineitä lapselleen. Hannikaisen mielestä on kuitenkin hyvin selvää, että lapsilla on oikeus omiin harrastusvälineisiin ja musiikin tapauksessa sen kuntouttava ja hoitava vaikutus lapseen on ilmeinen⁵⁵. Vaikka Riitta onkin jo aikuinen, ei pidä unohtaa, että musisoinnin vaikutukset ovat monin tavoin samantapaisia, onpa kyseessä lapsi tai jo varttunut ihminen⁵⁶. Riitta on harrastanut musiikkia jo pitkään. Hän on suorittanut laulusta perustason⁵⁷

⁵⁴Hallitus antoi eduskunnalle vammaispoliittisen selonteon. Tiedote 178. Helsinki 2006. Sosiaali- ja terveysministeriö.

⁵⁵Hannikainen 2011, 2013.

⁵⁶Kts. Esim. Särkämö, Teppo & Laitinen, Sari & Numminen, Ava & Tervaniemi, Mari & Kurki, Merja & Rantanen, Pekka: Muistaakseni laulan. Helsinki 2011, s. 14. Miina Sillanpään Säätiö.

⁵⁷Grönstrand 2007.

ja jatkaa edelleen lauluopintojaan. Riitalle mahdollisuus opiskella laulua tuli mahdolliseksi opetussuunnitelman muutoksen 2004 myötä, joka mahdollisti yksilöllistetyn opetuksen. Hän opiskelee Kuopion konservatoriossa Marjatta Airaksen ohjauksessa.

Soittaminen ja laulaminen ovat luovaa toimintaa. Kun musisoidaan yhdessä, on toiminta myös sosiaalista. Luovan toiminnan avulla myös kehitysvammainen henkilö voi ilmaista itseään. Tällöin hänen on mahdollista ymmärtää itseään paremmin, havaitsemalla tunnetiloja itsessään. Musisointi auttaa myös keskittymään ja luo kokemuksia, jotka voivat olla onnistumisen ja onnellisuuden kokemuksia. Musiikki on kehitysvammaisille tärkeä harrastusmuoto.⁵⁸ Laulu- tai soitinharrastus on avannut monia mahdollisuuksia, myös esiintymisiin. Tästä hyvänä esimerkkinä on Resonaari soi! -tapahtuma Helsingin Savoy-teatterissa, jossa Musiikin erityispalvelukeskus Resonaarin musiikkikoulun oppilaat esiintyvät yhdessä ZOOM-artistien kanssa⁵⁹. Raittius- ja urheiluseura ZOOM on Suomen eturivin taiteilijoiden yhdistys, joka tunnetaan halustaan tehdä hyväntekeväisyystyötä.⁶⁰ Musisointi onnistuu hyvin sekä yksin että ryhmissä, kunhan sitä varten on tehty valmisteluja, kuten soittimien tai sovitusten yksinkertaistamista.⁶¹

⁵⁸Kaski 2012, s. 199.

⁵⁹www.resonaari.fi (viitattu 24.4.2013).

⁶⁰www.zoombyspiel.fi (viitattu 1.5.2013)

⁶¹Kaski 2012, s. 200.

3 DESIGN-TUTKIMUS

Design-tutkimus on toimintatutkimuksen muoto. Siitä ei voida puhua varsinaisesti metodina. Samalla tavalla kuin toimintatutkimuksessa, perustuu se toistuviin interventioihin, jotka ovat suunniteltuja.⁶² Toimintatutkimuksessa lähdetään siitä, että tietoa etsitään ihmisten toiminnan ja käytännön työn kehittämiseksi⁶³. Verrattaessa tavallista toimintatutkimusta design-tutkimukseen painottuu jälkimmäisessä suunnittelu toisin kuin toimintatutkimuksessa, jossa voitaisiin vertailla esimerkiksi valmiin tuotteen käyttöä jossain ympäristössä. Yhteistä toimintatutkimuksen kanssa on toiminnan tai tässä tapauksessa tuotteen kehittäminen ja tutkiminen samanaikaisesti.⁶⁴ Kun puhutaan designista, monilla tulee mieleen muotoilu ja suunnittelu. Käytän tässä tutkielmassa jatkossa termiä design, kun viitataan yhdistelmään suunnittelu-muotoilu. Tässä tutkielmassa suunnittelun osuus korostuu ja samoin kehittämistä tarkastellaan enemmänkin tuotteen kuin ihmisten toiminnan seuraamisella, joka olisi luonteenomaista toimintatutkimukselle.

Design-tutkimuksessa interventiot tarkoittavat tietoisesti ja ennen varsinaista tutkimusta suunniteltuja väliintuloja. Ne ovat kuin välipalavereja, joissa katsotaan miten suunnittelu on edennyt. Tämä tarkoittaa myös suunnittelun etenemisen aikataulutusta ja eri ongelma-kohtien etukäteen ennustamista.⁶⁵ Uudelleen suunnittelukohtiin palaaminen muodostaa syklejä, jotka yhdessä toimintatutkimuksen spiraalin jatkuessa kehittävät toimintaa tai tuotetta⁶⁶. Tutkimuksessa esille nousevat asiat saattavat nostattaa esiin uusia tutkimuskysymyksiä tai -tehtäviä, joista voi muodostua tutkimukselle sivuspiraaleja⁶⁷.

Tavoitteenani on tehdä käyttäjälle toimiva, käytettävyydeltään erinomainen ja sovellettavissa oleva tuote. Soittimen peruseräpäätöiden, kuten akustisten säteilijöiden tai kieliratkaisuiden, siirtämisen myös muihin soitintyyppisiin palvelee soitintutkimusta ja omaa yritystoimintaani. Design-tutkimuksessa tätä siirrettävyyttä kutsutaan algoritmisuudeksi⁶⁸.

⁶²Heikkinen, Hannu & Rovio, Esa & Syrjälä, Eeva (toim.): Toiminnasta tietoon. Helsinki 2007, s. 16, 69–70. Kansanvalistuseura.

⁶³Emt. s.16.

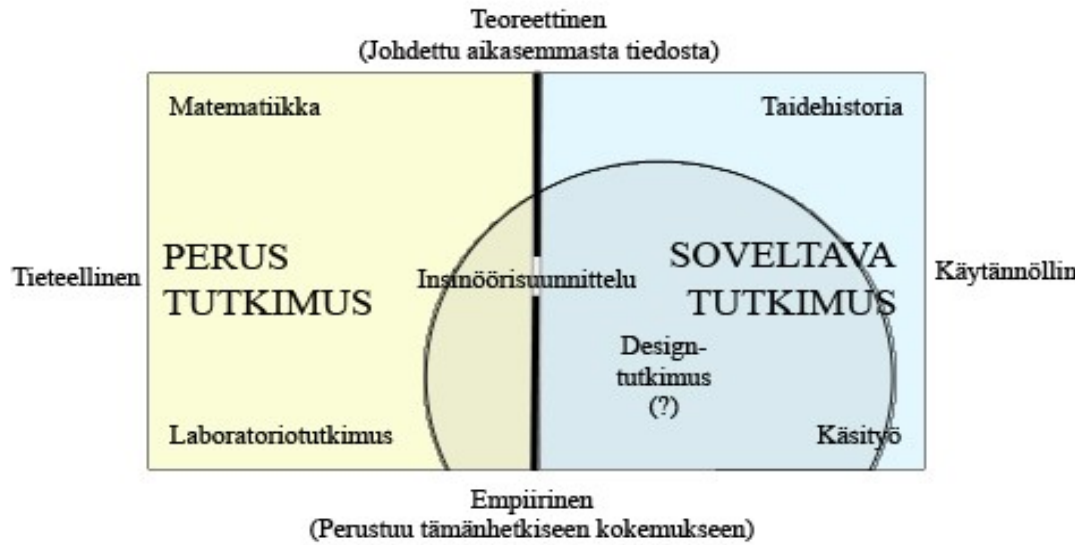
⁶⁴Emt. s.67–69.

⁶⁵Emt. s.69.

⁶⁶Emt. s. 80–81.

⁶⁷Emt. s.87.

⁶⁸Emt. s. 69.

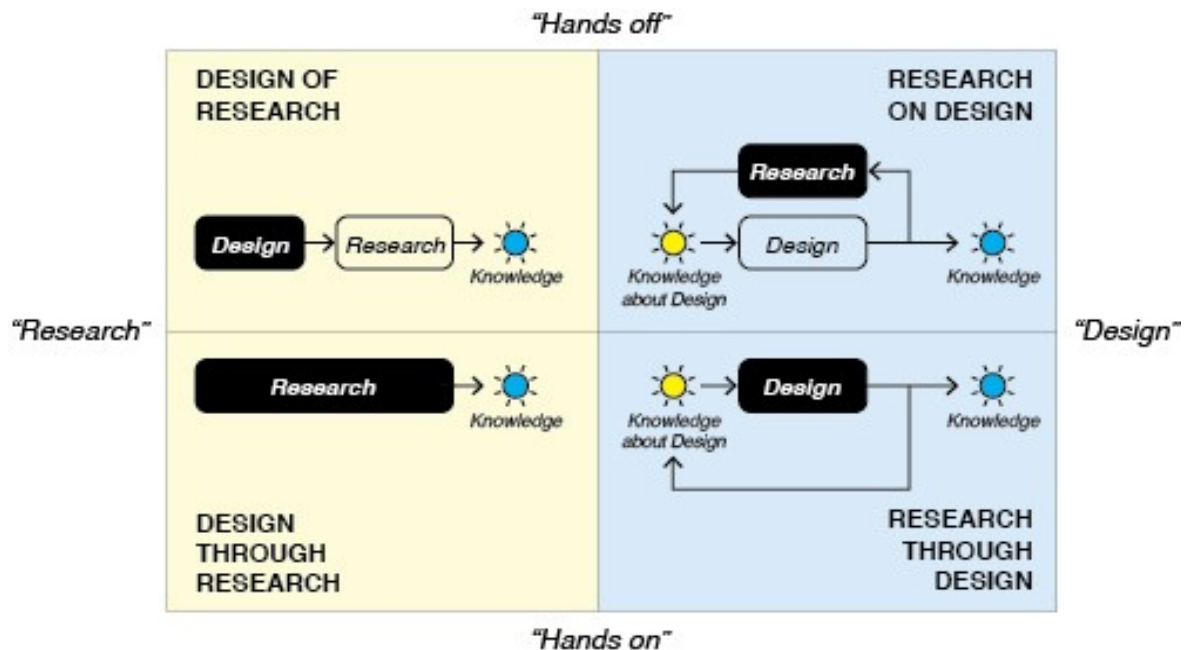


Kuva 6. Design-tutkimuksen kenttä Fasten & Fasten mukaan. 2012, s.2.

Faste ja Faste viittaavat design-tutkimuksen termin erilaisiin käsityksiin. Ne voidaan jakaa kahteen pääluokkaan. Ensimmäisessä luokassa design-tutkimusta käsitellään tutkimuksen luokkana ja toisessa laajemman design-prosessin yhtenä näkökulmana. Kuvassa 4 on selvennetty design-tutkimuksen sijoittumista tutkimuksen kentässä.

Kun tarkastellaan design-tutkimusta itse design-prosessin yhtenä näkökulmana, Fasten ja Fasten mukaan design ei ole tutkimusta, vaan tutkimus on itse asiassa designia. Heidän mukaansa design-tutkimus on luovaa tutkimusta, eikä vain sen osa-alue. Faste & Faste jakavat design-tutkimuksen neljään osaan, jotka yrittävät tehdä tutkijoille selvemmäksi sen, miten sisällyttää design tutkimuksen osaksi ja mitä näkökantoja siinä on.⁶⁹

⁶⁹Faste, Haakon & Faste, Trygve: Demystifying "design research": Design is not research, research is design. Boston 2012, s.1-5. Industrial Designers Society of America.



Kuva 7. Faste & Faste: Design-tutkimuksen neljä kategoriaa. 2012, s.5.

Vaaka-akselilla on tehty ero tutkimuksen ja designin välillä ja pysty-akselilla ero siitä, kuinka paljon tutkija ottaa osaa varsinaisiin toimintoihin, mitä tutkitaan. Vasemmassa yläkulmassa oleva laatikko kuvaa tutkimusta, jossa tutkimusta tehdään tieteellisten traditioiden mukaan. Designia tarkkaillaan ja tutkitaan, ja siitä saadaan tuloksia eli tietoa. Vasemmassa alakulmassa tutkimusta tehdään samalla kun tutkijat osallistuvat designin luomiseen, välttämättä kuitenkin tietämättä designin roolista tutkimuksessa. Oikeassa yläkulmassa suunnittelun käytännön etenemistä tutkitaan, josta saadaan tietoa designprosessin vaiheista, ja voidaan samalla kehittää itse prosessia. Viimeisessä laatikossa tutkimusta tehdään samalla kun ollaan mukana designprosessissa, ja pelkkien konkreettisten lopputulosten lisäksi sykleissä syntyy tietoa, jolla voidaan kehittää designia lisää. Oma tutkimukseni sijoittuu lähinnä kahteen alimmaiseen kategoriaan. Siinä on piirteitä, jossa designia tehdään tutkimuksen avulla ja piirteitä, joissa tutkimusta tehdään design-prosessin edetessä, sekä palataan mahdollisesti takaisinpäin koko suunnitteluprosessissa. Myös osallistuminen itse prosessiin rajaa tutkimukseni hyvin selvästi kahteen alimmaiseen kategoriaan Fasten ja Fasten jaottelussa.

Kun suunnitellaan ja rakennetaan tilauksesta uusi soitin, on otettava huomioon monia eri seikkoja. Soittajan tarpeet ovat pääasiallinen seikka suunnittelussa, varsinkin kun asiakkaalla on erityistarpeita tai rajoitteita, joita soittimen muotoilussa tai toiminnassa on otetta-

va huomioon. Nämä erityistarpeet sekä soitinrakentajan oma halu kehittää uutta soitinta tuovat tullessaan mahdollisesti uusia soitinteknillisiä ratkaisuja, joita on hyvä testata suunnittelun edetessä.

4 OHJAAVAT KYSYMYKSET JA TUTKIMUSKYSYMYKSET

Jotta voisin kehittää soitinta tutkimus- ja kehitysprosessin aikana, sekä prototyypin valmistuttua, merkkasin muistiin kohtia, joita tarkastelen. Ne ovat:

- äänen voimakkuus
- sointi (kitaraa muistuttava)
- soittimen fyysinen kestävyys
- soitettavuus
- hyvä käsiteltävyys.

Helposti soitettava soitin, josta saa kitaraa muistuttavan äänen, palvelee käyttäjän tarpeita. Soittimen kestävyys ja hyvä käsiteltävyys taas kompensoivat rajoitteita. Nämä kohdat yhdistin edelleen kolmeksi luokaksi, joita ovat:

- äänenlaatu (voimakkuus, sointi)
- kestävyys
- ergonomia (soitettavuus, käsiteltävyys).

Koska omassa tutkimuksessani lähdin kehittämään soitinta soittajan tarpeiden ja rajoitteiden pohjalta, asetin päämäärät soittimen kehittämisessä seuraavien kysymysten avulla:

- Kuulostaako soitin kitaralta?
- Onko kieliryhmien erottaminen ja niiden erillinen soittaminen helppoa?
- Kestääkö soitin rajua käsittelyä?
- Onko soitinta hyvä pitää sylissä?

Tilaajan yksi toiveista oli yhteissoittoon osallistumisen vaikutus Riittaan. Valmiin soittimen jatkotutkimuksia ajatellen voisin liittää myös kysymyksen soittimen mahdollisesta myötävaikutuksesta käyttäjän elämänlaatuun:

- Edistääkö uusi soitin käyttäjän mahdollisuuksia osallistua itsenäiseen musisointiin ja yhteissoittoon?

Räisäsen mukaan uutta soitinta kehitettäessä on tutkimuksen näkökulmasta yksi päätekijä soittimessa se, kuinka soittaja käyttää soitinta ja miten soitin reagoi soittamiseen⁷⁰. Nämä tekijät ovat mielestäni helppo havainnoida silloin, kun soitin on käyttäjällä soitettavana. Oma lähtökohtani kehittää soitinta mahdollisimman pitkälle ennen ensimmäistäkään käyttökokemuksesta saatavaa tietoa tuo paljon haastetta tutkimustyöhön. Koska valmista soitinta ei ole ollut ennen tutkimuksen loppuvaihetta, ei soittimen käytön havainnoiminen ole ollut mahdollista. Soittimen tilaajan kanssa käydyt keskustelut tutkimuksen aikana ovat kuitenkin antaneet monia soitinta kehittäviä näkökulmia.

Pääasialliset tutkimuskysymykset määrittelin edeltävien tutkimusta ohjaavien kysymyksien avulla:

1. Miten design-tutkimus auttaa soitinrakennuksessa, joka ottaa huomioon erityiskohde-ryhmän?

2. Mitkä seikat ovat oleellisia suunniteltaessa uutta soitinta kehitysvammaiselle?

⁷⁰Räisänen 2011, s. 81.

5 UUDEN SOITTIMEN SUUNNITTELU JA RAKENNUS

Uudessa soittimessa on luuttusoittimeksi hyvin tavalliset osat: kielet, kansi, koppa ja kaula. Luvussa 5.1 kerron soittimen suunnitteluprosessin ensimmäisestä ja ohjaavasta elementistä, kielistä. Kielisoittimen tärkein osa on kielistö, koska ilman kieliä soitin ei toimi. Soitintilauksen sointulähtöisyys myös korostaa kielistön suunnittelun ohjaavaa asemaa. Jo tutkimuksen alusta alkaen aioin suunnitella soittimen rakenteita ja mittoja myös tietokoneella. Tämä sisälsi sekä kielten laskemista että soittimen rungon suunnittelua tietokoneavusteisesti. Suunnittelusta tietokoneella ja ilman sitä kerron luvussa 5.2. Soittimen äänen välittää ilmaääneksi sen kansi, jota kutsun tasovärähtelijäksi. Sen suunnittelusta ja rakentamisesta kerron luvussa 5.3. Kaulan ja kopan rakennus sekä soittimen kokoaminen on käsitelty luvuissa 5.4–5.6.

5.1 Kielirakenne määrää soittimen luonteen

Soitintilaukseen sisällytettiin ehto soittimen sointulähtöisyydestä. Soitin tulisi siis olemaan pääasiassa vain vapailla kielillä sointujen soittamiseen tarkoitettu. Tällöin olisi myös pidettävä huolta siitä, että soitin ohjaa soittajan soittamaan sointuja. Tämän tarkoituksen ratkaisuna olen pitänyt sointujen soitettavuuden helppoutta. Kun asiakkaana on käsien koordinaatioltaan rajoittunut ihminen, voi helpon tavan soittaa rajoittavan mahdollisuuksia ”väärin soittamiseen”.

Mietittäessä syksyllä 2011 soittimen rakennetta keskustelin yhdessä Hannikaisen kanssa soittimeen mukaan otettavista soinnuista. Koska yhtenä perimmäisenä tarkoituksena on mahdollisuus käyttää soitinta yhteissoittoon, ajattelimme ottaa käyttöön mahdollisimman monikäyttöiset soinnut tonaalisen musiikin kontekstissa, jotka ovat länsimaiset tonaaliset perustehot⁷¹ eli ensimmäisen, neljännen ja viidennen asteen soinnut. Minulla soitinrakentajana oli myös ajatus erityisvalmisteisen capon käyttöön, jotta tarvittaessa sävellajeja saataisiin lisää. Tähän ajatukseen perustui päätös käyttää kaikissa kielissä samaa pituutta. Capo on apuväline, jolla kielimensuuria voidaan lyhentää. Sen avulla kielet puristetaan otelautaa vasten joko jousivoimaa tai säädettävää vipumekanismia käyttäen.

⁷¹Salmenhaara, Erkki. Sointuanalyysi. Helsinki 1974, s. 13, 33–34. Otava.

Jo projektin alkuvaiheessa päätettiin lopullinen sointujako, mutta ei sävellajia. Kieliä las-
kiessani päädyin sävellajissa C-duuriin, joka tuntui minusta luontevalta valinnalta myös
soitettavan materiaalin suhteen. Myöhemmin käydyissä keskusteluissa ensimmäisen asteen
sointuun lisättiin lisäbassosävel ja viidenteen asteeseen septimi. Tämä tuotti suunnittelu-
vaiheessa joitakin ongelmia. Kun tavoitteena oli myös hyvä ja kuuluva sointi, ei lisäbasson
soiva alue pysynyt kielen pituuden asettamissa rajoissa. Samoin septimi oli ongelmallinen
sen korkeuden vuoksi. Septimin pystyin ratkaisemaan pudottamalla sen soinnun alimmaksi
säveleksi, jolloin sain soivan alueen kohtuulliselle tasolle. Ei pidä unohtaa että samalla
myös sointu muuttui sekuntikäännökseksi. Soittimen varsinaisessa versiossa kielirakenteen
tarkastelu uudestaan sointujen ja niiden käännösten sekä myös sävellajin kannalta voi tuot-
taa parempia vaihtoehtoja.

Lopullinen kielirakenne muodostuu yhdestätoista kielestä. MEOK-harjoittelussa, jossa ra-
kensin soivia malleja ja osan soittimen osista, päätin sijoittaa sointujen järjestyksen ylhääl-
tä alas järjestyksessä ensimmäinen, viides ja neljäs aste. Tämä järjestys tuli omasta ideas-
tani ja harjoittelun ohjaaja Annukka Knuutila oli ollut samoissa ajatuksissa. Oman valinta-
ni perustelin sillä, että tärkeimmät tehot olisivat lähimpänä käyttäjää. Silti muitakin sointu-
jen järjestysmalleja pitää harkita käyttökokemuksien jälkeen. Ajatus erivärisistä kieliryh-
mistä on ollut esillä toistuvasti sekä Hannikaisen että Knuuttilan kanssa projektin eri vai-
heissa, mutta hylkasin ajatuksen viritysteknisistä syistä. Värikkiset kielet vaatisivat käytän-
nössä muovikielet, ja niiden ominaisuudet ajatellen kitaran viritystä ja sointia ovat vaati-
mattomia. Tein alkuvaiheessa virityskokeiluja nylonkielillä, mutta en saanut mielestäni
tarpeeksi hyviä tuloksia, joten päätin pitäytyä teräsydinkielissä. Väriajatuksen tulen kui-
tenkin yhdistämään kielten alapuolelle, sekä kannen että kaulan osalta.

Forster antaa kielten laskemisen ohjenuoraksi seuraavat kysymykset⁷²:

1. Kestääkö soitin kielten aiheuttamat jännitykset?
2. Kestävätkö kielet tarvittavat jännitykset?
3. Antaako kieli hyvän äänen?

Ensimmäisen kysymyksen osalta tulos nähdään vasta valmiissa soittimessa. En laskenut
kaulan puuaineksen taipumista ja kestävyyttä. Arvioin kuitenkin oman kokemukseni poh-

⁷²Forster 2010. s. 35.

jalta kaulan runkorakenteen paksuutta. Toisen ja kolmannen kysymyksen osalta toivoin saavani vastaukset kirjoittamani laskentadokumentin kautta. Kolmanteen kysymykseen vastatessani tarkastelin jokaisen kielen rasitusprosenttia. Tästä luvusta, joka tarkoittaa suhdetta kielen vedon ja kielen murtolujuuden välillä⁷³, on monia eri näkökantoja. Pölkin mukaan olisi hyvä pysyä 35 – 85 prosentin alueella⁷⁴. Forster rajaa alueen 40 – 65 prosenttiin⁷⁵. Kielet tehnyt Jukka Mäkelä käytti taas tyystin erilaista näkökulmaa kielisarjan tekemiseen. Hänen tekemässään laskelmassa ei oltu ilmoitettu rasitusprosenttia ja joidenkin kielten osalta vedon määrä poikkesi omista laskelmistani. Tarkemmin päätelmistäni kerron luvussa 4.2.1.

5.2 Tietokoneavusteinen suunnittelu

Suunnittelu tietokoneen avulla on nykyisin arkipäivää. Soitinrakentajille CAD-mallinnus ei pienen toiminnan puitteissa ole kovinkaan järkevää tai taloudellisesti mahdollista. Sen sijaan matemaattiset toimenpiteet esimerkkinä käytetyn taulukkolaskentaohjelman avulla ovat jokaisen helposti saavutettavissa. Kielien laskemisesta sekä CAD-mallinnuksesta kerron luvuissa 5.2.1 ja 5.2.2.

5.2.1 Kielienlaskentadokumentti

Kirjoitin taulukkolaskentaohjelmaa käyttäen yksinkertaisen kielienlaskentadokumentin (taulukko 2), jolla voi laskea kielen rasitusprosentin ja vedon, kun tunnetaan kielen pituus ja haluttu taajuus. Sarakkeisiin sijoitin solut kielen pituudesta, sydänlangan ja kielen kokonaishalkaisijasta, vedosta, rasitusprosentista, taajuudesta ja ytimen sekä punosaineen metripainosta. Kaikkien kielten yhteisinä tekijöinä on sydänlangan murtolujuus ja tiheys sekä punosaineen tiheys. Mikäli punosta ei tule, ilmoitetaan kokonaishalkaisija samana kuin sydänlangan halkaisija.

⁷³Forster 2010, s. 35; Pölkki 2004, s. 141.

⁷⁴Pölkki 2004, s. 141.

⁷⁵Forster 2010, s. 35.

Taulukko 2. Kielidokumentin ensimmäinen rivi.

Ryhmä 1								
	Spituus (mm)	sydänl. Ø	Veto (N)	rasituspros.	Kokonais.Ø	Taajuus (Hz)	Z = kg/m	Z, puno:
C	650,0	0,55	149,7	36,0	1,95	65,40	0,0207	0

Eri arvojen laskemiseen olen käyttänyt seuraavaa kaavaa⁷⁶:

$$V = 4 F^2 Z L^2$$

V= veto Newtonneissa, kgm/s²

F= taajuus hertseissä (1/s)

Z= kielen massa pituusyksikköä kohti (kg/m)

L= soiva pituus (m)

Tarvittaessa olen muuntanut yksiköitä sopivilla kertoimilla, että saan käsiteltäviä mielekkäitä lukuja, kuten esimerkiksi kielen pituus millimetreissä. Kielen massaa metriä kohden ei voida laskea edeltävästä kaavasta, vaan se vaatii tietoja kielen halkaisijasta ja kielilangan tiheydestä. Punoksen laskemiseen olen käyttänyt lieriön ympärille vierä viereen punotun aineksen tilavuutta 0,7854⁷⁷. Näin saadaan kokonaismassa metriä kohti Z_k summaamalla sydänlangan ja punoksen massa.

$$Z_k = \left(\left(\frac{d}{2}\right)^2 * \pi * T_y\right) + \left(\left(\left(\frac{D}{2}\right)^2 - \left(\frac{d}{2}\right)^2\right) * \pi * 0,7854 * T_p\right)$$

Z_k =kielen kokonaismassa

d = sydänlangan halkaisija

D = koko kielen halkaisija

T_y = sydänlangan tiheys

⁷⁶Pölkki 2004, s. 139.

⁷⁷Forster 2010, s. 37.

T_p = punosaineen tiheys

Sydänlangan (ruostumaton teräs) tiheytenä olen käyttänyt 7850 kg/m^3 ⁷⁸ ja punosaineen (80 % kupari/ 20 % sinkki, l. messinki) tiheytenä 8731 kg/m^3 ⁷⁹. Tarkemmat tiedot ja mallit ohjelmasta ovat liitteessä 1.

Rasitusprosentin laskemiseen tarvitaan kielimateriaalin murtolujuus, veto ja kielen halkaisija⁸⁰. Myös rasitusprosentin laskeminen on esitetty liitteessä 1.

Tarkastin oman ohjelmani useasti virheiden varalta, mutta virheitä ei löytynyt. Varmistaakseni, etten ole tehnyt virhettä ohjelmaani, mittasin kaikkien kielten paksuudet mikrometriä apuna käyttäen, sekä ydinlangan että mahdollisen punoksen osalta, ja syötin tiedot Reima Rouvisen ja Jyrki Pölkin kehittämään kieltenlaskentaohjelmaan. Ohjelman olen saanut käyttööni Jyrki Pölkiltä. Taulukossa 3 olen esittänyt kielten vedot rinnakkain. Olen muuntanut Mäkelän käyttämän kilopondi-yksikön Newtonneiksi.

Taulukko 3. Kielien vetojen vertailua eri lähteiden kesken.

Kieli	Vedot / Newtonneina		Kielitentekijä
	Oma ohjelma	JP / RR	
C	149,7	149,8	147,1
c	116,1	116,1	117,7
e	94,7	94,7	107,87
g	92	92	98,1
f	88,9	88,9	98,1
g	92	92	98,1
h	101,7	101,7	88,3
d1	80,9	80,9	88,3
f	88,9	88,9	98,1
a	102,1	102,1	88,3
c1	87,4	87,4	88,3

Mäkelän mukaan vedon pitää laskea systemaattisesti mentäessä paksuimmista kielistä ohuempiin⁸¹. Hänen omissa tuloksissaan kielten veto käyttäytyy juuri näin. Omissa las-

⁷⁸Pölkki 2004, s. 143.

⁷⁹Forster 2010, s. 882.

⁸⁰Forster, 2010, s. 35.

kuissani ei kuitenkaan näin käy. Samoin omat tulokseni ovat yhtenevät Rouvisen ja Pölkin ohjelman kanssa. Laskettujen vetojen erot olivat suurimmillaan h- ja a-kielissä. Tämä oli mielestäni kummallista, koska ne ovat punomattomia ja näin ollen kielilaskut ovat yksinkertaisempia. Jos olisi haluttu käyttää Mäkelän ohjetta, jossa veto laskee mentäessä ohuempiin kieliin, olisi pitänyt omien laskujeni mukaan tehdä joitain korjauksia kielten paksuuksiin. Toisaalta pitää ottaa huomioon se, että Mäkelän lähtötiedot kielimateriaaleista sekä niiden dimensioista ovat varmasti tarkemmat, kun omat tietoni perustuvat kielten huolelliseen mittaamiseen mikrometrillä sekä kirjallisuudesta saatuihin tiheysarvoihin. Samoin hänen vuosikausien kokemuksena ja käytännön tieto kielten tekemisestä ovat varmasti muokanneet kielten laskentaprosessia kielten toiminnan kannalta parempaan suuntaan. Edelleen, Mäkelän laskelmien kilopondit oli ilmoitettu ilman desimaaleja, joten pyöristysvirheenkin mahdollisuus on olemassa. Toisaalta Mäkelän tuloksissa vetojen ilmoittaminen yhden kilopondin tarkkuudella tuntui viittaavaan kielimallien kategorisoimiseen eri vetoluokkien mukaan.

Omissa laskuissani en ottanut kuitenkaan vedon systemaattista laskemista kielten tekokriteereiksi, vaan kielten rasituksen pysymisen optimaalisella alueella. Siksi en lähtenyt muuttamaan kielten paksuuksia. Seuraavassa taulukossa on valmiissa soittimessa olevien kielten rasitusprosentit sekä oman ohjelmani että Pölkin ja Rouvisen ohjelman mukaan (prosentit ovat samoja):

Taulukko 4. Eri kielten rasitusprosentit.

Kieli	Rasitusprosentti %
C	36,0
c	52,8
e	43,1
g	74,3
f	52,8
g	74,3
h	46,2
d1	65,4
f	52,8
a	36,7
c1	51,9

⁸¹ Mäkelä 2013.

Taulukosta 4 nähdään, miten jokaisen kielen rasitusprosentti jää Pölkin suosittelemalle 35–85 % alueelle. Tämä havainto oli mielestäni hyvä syy hyväksyä kielet sellaisenaan. Forsterin suosittelema alue on hiukan pienempi, mutta toisaalta Pölkin alue on yleisluontoisempi, kun taas Forsterin mukaan 40–65 % alue on ”useimmiten käytetty”⁸². Kielirakennetta jatkossa kehitettäessä kasvatan matalalle jääviä rasitusprosentteja ainakin h- ja a-kielten osalta. Tasaisempi rasitusprosenttien jakautuminen kielten kesken olisi myös toivottavaa. Toisaalta tässä kielitysmallissa jokaisen soinnun kirkkaimmin soivat äänet ovat niiden juuri ja kvintti. Terssit sen sijaan ovat prosenteiltaan alhaisimpia, ja näin ollen niiden alukkeessa on eniten sävelkorkeuden muutosta, joka vaikuttaa kokonaissointiin. Ylimääräisen basson äänen matala prosentti on kompromissi, koska kovin paljon paksumpi kieli olisi aiheuttanut ongelmia niin valmistusteknisesti kuin myös vedon tasaisen jakautumisen kannalta.

Kielten rasitusprosentin kasvaessa paranee virityksen pitävyys ja ääni soi kirkkaammin ja puhtaammin. Jos rasitusprosentti laskee liian alas, vastaavasti viritys ei pidä niin hyvin ja ääni kuulostaa huonolta.⁸³ Kieliohjelman avulla pystyin tarkkailemaan rasitusprosentin alueen pysymistä kunkin kielen kohdalla kohtuullisena.

5.2.2 CAD-mallinnus

Alun perin soitin oli tarkoitus suunnitella tietokoneella ja sen jälkeen aloittaa valmistus valmiiden piirustusten pohjalta. Tämä kuitenkin osoittautui konkreettisten muotojen ja mittojen havainnoinnin kannalta ongelmalliseksi. Valmistinkin alkuvaiheessa hahmomallin soittimen kopasta ja kaulasta, josta saatoin mitata eri dimensioita tietokonetyöskentelyä varten. Myös hahmomallin haptisuus eli käsinkosketeltavuus oli ylivertainen ominaisuus arvioidessani muotoilua ja soittimen ergonomista pideltävyyttä.

Mallintamiseen käytin sekä Autodeskin Autocad-ohjelmiston 2D- ja 3D-ominaisuuksia sekä saman valmistajan Inventor-ohjelmistoa. Työ eteni muotojen suunnittelun osalta seuraavasti:

⁸²Forster 2010, s. 35.

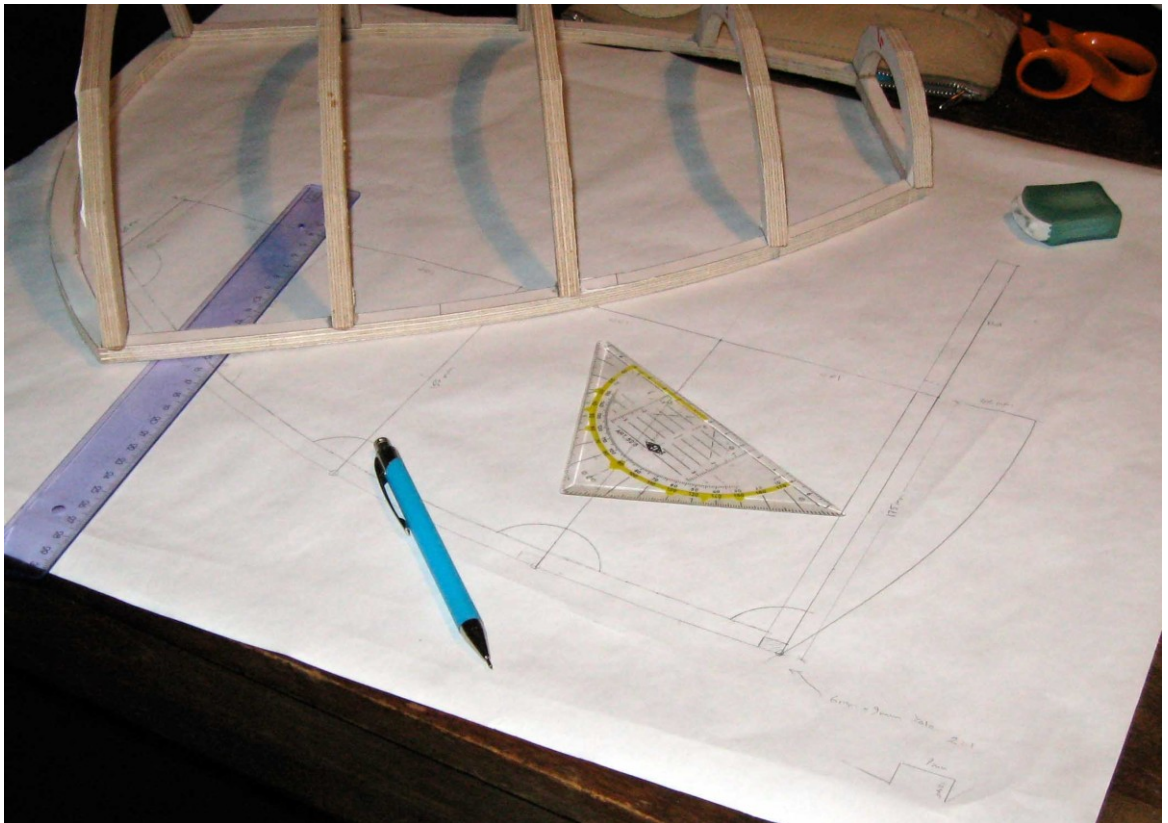
⁸³Forster 2010, s. 35; Pölkki 2004, s. 141.

1. Luonnostelu käsin paperille. Mittojen ylös ottaminen.
2. Ensimmäinen luonnos kaksiulotteisesti CAD-ohjelmistolla. → Hahmomallien valmistus
3. Hahmomallien tekeminen alkuperäisten luonnostelujen pohjalta.
4. Hahmomallien tarkastelu, muodon ja koon toimivuuden tarkastelu. Mallien mittaus.
5. Soittimen kannen ja kopan tukirakenteen kaksiulotteinen piirustus eri projektioista.
6. Ensimmäinen kopan tukirangan ja kannen konkreettisten mallien valmistus
7. Mallien tarkastelua → Vikojen ja puutteiden kirjaaminen ylös.
8. Uudet kaksiulotteiset kuvat kopasta.
9. Kaulan kaksiulotteinen piirustus, jota korjattiin rakentamisen aikana.
10. Soittimen rakentaminen ja kokoaminen.



Kuva 8. Polystyreenistä muotoiltu kopan hahmomalli.

Hahmomallien valmistamiseen käytin polystyreenilevyjä, joita on helppo sahata ja jyrsiä sekä muotoilla puukäsityökaluilla. Tarvittaessa liimasin levyjä yhteen kaksikomponentti-liimalla saadakseni lisää paksuutta. Tein yhden mallin soittimen kopasta (kuva 8) ja toisen näkyviin jäävän kaulan osasta. Näillä osilla havainnoin soittimen käsittelyä ja muotojen tarkoituksenmukaisuutta. Tein ensimmäisistä varsinaisista työpiirustuksista kopan tukirangan mallin, jonka jouduin heiveröisyyden takia vielä piirtämään uudestaan niin käsin kuin myös koneella, katso kuva 9.



Kuva 9. Ensimmäisen tukirangan piirtäminen uudelleen käsin.

Hahmomallista saaduilla mitoilla pystyin piirtämään yksinkertaiset kaksiulotteiset kuvat tietokoneavustettua piirtämistä (CAD) käyttäen. Tallensin tiedostot kolmiulotteista mallintamista varten. Tietokoneavusteisessa piirtämisessä on helppo tehdä korjauksia ja esimerkiksi suurentaa ja pienentää eli skaalata jo tehtyä piirustusta. Tämä on hyödyllistä, kun halutaan tehdä esimerkiksi kielimensuuriltaan lyhyempää tai pidempää soitinta.

5.3 Tasovärähtelijän suunnittelu ja rakennus

Kolmisointuisessa kitarassa kansi on se osa soitinta, joka säteilee äänen ympäristöön, kuten normaalissakin kitarassa. Kielet itsessään eivät pysty liikuttamaan suurta ilmamassaa, kuten voimme sähkökitarasta havaita. Sen sijaan jokaiseen kielisoittimeen on rakennettu jonkinlainen isompi, tasainen pinta, jonka avulla saadaan kielten värähtely siirrettyä ilmaa-neksi. Hyviä esimerkkejä ovat viulun ja kitaran kansi tai pianon äänipohja. Normaalisti akustisessa kitarassa kansi on liitetty kiinteästi kitaran kopan reunoihin, jolloin se ei pääse värähtelemään vapaasti. Nyt kehitettävässä uudessa soittimessa pyritään kansi pitämään irti kopastaan. Ainoastaan kaula kiinnittyy kanteen kielten kiinnityspisteen alla. Tasovärähtelijä korvaa kitarasta ja luutusta tutun kannen. Kun kansi on liimattu kiinni laidoistaan, puhutaan siitä reunoistaan kiinnitettynä levynä. Nyt rakennettavassa soittimessa kansi on laidoiltaan irti muusta rakenteesta, joten voidaan puhua vapaareunaisesta levystä.⁸⁴

Kun on kyse tavallisesta kitarasta, yritetään kannen tukirakenteilla estää kannen painuminen ja eläminen. Samoin pitkittäiset rimat ottavat vastaan kielten aiheuttamasta vedosta syntyvää jännitystä. Tämän tutkimuksen soittimessa ei tukirimoituksella ole kuitenkaan tällaista tehtävää, koska kielten veto saadaan kaularakenteen ulottuessa kielen kumpaankin päähän rajoitettua vain kaulaan.

Alun perin tarkoitus oli yhdistää kaula tukirimoitukseen, luultavasti se olisi vaatinut esijännitettyjä ja raskaita palkkeja, joilla olisi ollut luultavasti myös vaikutusta soittimen painoon. Näistä päätelmistä johtuen päätin tehdä hyvin kevyet ja vähäiset tukirimat, lähinnä kannen jäykistämiseksi ja massan lisäämiseksi. Kannen lisäjäykkyydellä sain hallittua holtitonta värisemistä ja massan lisäämisellä madallettua ominaistaajuutta. Lisäksi poikittainen rimoitus estää kannen halkeilua.

Ominaistaajuus on vapaasti värähtelevän yksinkertaisen kappaleen ominainen taajuus⁸⁵. Käytännössä soittimen kannessa on monia eri ominaistaajuuksia, koska se ei ole yksinkertaista harmonista värähtelyä tuottava. Tällöin madaltaessani alinta ominaista värähtelyä, alensin myös muitakin ominaistaajuuksia.

⁸⁴Pölkki 2004, s. 16–18.

⁸⁵Nieminen 2004, s. 50.

Soittimen kansi on levy, joka pääsee kohtuullisen vapaasti värähtelemään ilmatilassa, lukuun ottamatta kiinnityspisteitä. Levymäiseksi värähtelijäksi voidaan luokitella kappale, jonka paksuus on reilusti pituutta ja leveyttä pienempi⁸⁶. Levyjen värähtelyä voidaan helposti laskea, kun ne ovat yksinkertaisen muotoisia. Tämän tutkimuksen soittimen kansi on kuitenkin monimutkaisempi pinnaltaan kuin esimerkiksi ympyrä tai neliö. Tällöin voidaan kannen noodipisteitä etsiä värissyttämällä kantta äänilähteen avulla. Noodipiste tai -linja tarkoittaa kohtaa kannessa, jossa on värähtelyn nollakohta.

Saksalainen fyysikko E.F.F. Chladni tutki erilaisten levyjen värähtelymuotoja ripottelemalla kevyitä partikkeleita, kuten suolaa tai hiekanjyviä levyjen päälle ja soittamalla niitä joussella. Hän esitti teorioitansa ensimmäistä kertaa teoksessaan *Entdeckungen über die Theorie des Klanges* 1787. Kun levy alkaa värähdellä jollain sen harmonisella taajuudella, kulkeutuvat hiukkaset vähiten värähteleville alueille, joita kutsutaan noodipisteiksi tai -linjoiksi.⁸⁷ Chladnin menetelmää voi käyttää etsittäessä tukirimoitusten paikkoja ja viritettäessä kantta. Äänilähteenä voi käyttää myös kaiutinta tai kokeiltavaan kappaleeseen tangolla yhdistettyä värähtelijää. Soittimen kansi on yleensä ns. pakotettu värähtelijä, jolloin voi olla mielekästä yhdistää Chladnin menetelmän värähtelijä siihen kohtaan, mistä värähtely tulisi kanteen muutenkin, esimerkiksi kitaran tallaan. Pakotettu värähtelijä tarkoittaa ensisijaisen värähtelijän – tässä tapauksessa kielten – pakottamaa värähtelijää.

Ääni, jolla kansi värähtelee helpoimmin eli se ns. resonanssitaajuudessa, on kannen alin ominaistaajuus. Tätä taajuutta voidaan virittää muuttamalla kannen paksuutta tai sen kokoa. Kokeilin noodipisteiden etsintää järjestelyllä, jossa kansi oli pienien vaahtomuovipalsten avulla nostettu kaiuttimen yläpuolelle. Äänilähteenä toimi normaali aktiivikaiutin yhdistettynä tietokoneen syntetisaattoriin.

Kokeiluissani en saanut kantta värähtelemään tarpeeksi voimakkaasti, jotta olisin voinut tehdä luotettavia päätelmiä irtoaineksen esiintymistiheyden perusteella. Kannen värähtelyä olisi voinut parantaa suoraan siihen kiinnitetyllä värähtelijällä. Resurssien puuttuessa päätin kuitenkin hylätä tällä kertaa tämän vaihtoehdon. Rakennettavassa soittimessa sijoitin tukirakenteiden paikat ainoastaan kuuntelun perusteella. Etsin vähiten kannen värähtelyä vaimentavia kohtia, joihin sijoitin tukirimoituksen. Käytännössä tämä tapahtuu pitämällä

⁸⁶Pölkki 2004, s. 16.

⁸⁷Rossing 1990, s. 29. Pölkki 2004, s. 153.

kantha kiinni jostain kohtaa, ja kopauttamalla sitä samalla kuunnellen sointia. Kuuntelu toistetaan riittävän monta kertaa, jotta saadaan selvä käsitys noodipisteiden linjoista.

Etsittäessä mahdollisimman hyvin soivaa kokonaisuutta, on pakotetun värähtelijän, tässä tapauksessa kannen, oltava ominaistajuudeltaan sama tai lähes sama kuin sitä pakottava värähtelijä. Kolmisointuisen kitaran kannen pakottaa värähtelemään kieli. Kun on kyseessä useampikielinen soitin, voidaan kuitenkin puhua vain kompromissista, koska eri kielten taajuudet ovat eri korkeudella. Päädyinkin tässä soittimessa etsimään kannen ominaistajuutta ensimmäisen asteen perusäänestä, jolloin puolitettu aallonpituus vastaa viidennen asteen perusääntä.

Kannen muodolle ei varsinaisesti ollut mitään matemaattisia tai soivuuden kannalta hyväksittyjä perusteita, vaan sen ajatus oli ensisijaisesti muotoilullinen. Kannen oli kuitenkin oltava riittävän iso, jotta se pystyisi liikuttamaan matalien taajuuksien vaatimaa ilmamas-
saa, ja toisaalta myös kopan muotoja määräävänä ergonomisesti oikean mallinen.

Valmistin mallin liimaamalla monia vuosia kuivaneista, säteen suuntaan sahatuista kuusilaudoista 500 * 400 mm kokoisen levyn, jonka sahasin vannesahalla oikeaan muotoon. Ennen lautojen liimaamista höyläsin ne toiselta puolelta oikohöylällä ja kavensin pyörösahalla noin 110 mm leveyteen. Ennen liimaamista oikaisin liimapinnat vielä oikohöylällä, jotta saumasta tulisi mahdollisimman siisti. Liimaamiseen käytin Titebond-liimaa, joka on yleisesti käytetty soitinrakennuksessa sen muodostaman liimasauman kovuuden vuoksi. Liimauksen kuivuttua höyläsin käsin mallin noin 11 mm vahvuuteen.

Laudat on tapana sahata puun rungon poikkileikkauksen suhteen säteen suuntaisesti, koska puu elää vähemmän säteen kuin tangentin suuntaan kosteusolosuhteiden vaihdellessa. Toki mikään ei estä tekemästä kantha myös toisin sahatusta puutavarasta, mutta tällöin erilainen kosteuseläminen pitäisi ottaa huomioon tukirakenteiden sijoittelussa ja mitoituksessa. Sahatun kuusilaudan leveys voi muuttua tangentin suuntaan 7-9 %, samalla kun säteen suuntaan vain 3-4 %⁸⁸. Kuusi on hyväksi havaittu ja paljon käytetty soitinrakennuspuu, erityisesti kitaroiden kansissa. Perusteet kuusen käyttämiseksi ovat sen keveys ja samanaikainen jäykkyys, vaikka monia muitakin samantyyppisiä puita on olemassa, ja niitä käytetään laajalti⁸⁹. Tällä kertaa materiaali valikoitui kuitenkin saatavuuden perusteella.

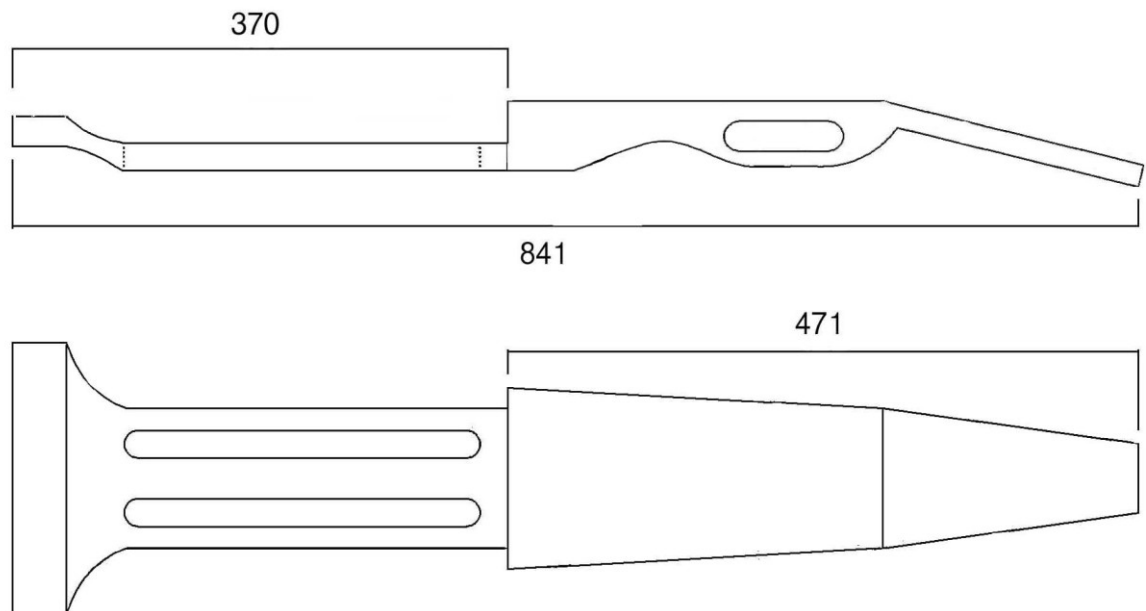
⁸⁸Josten, Elmar & Reiche, Thomas & Wittchen, Bernd: Holzfachkunde. Berlin 2004, s. 54. Vieweg + Teubner.

⁸⁹Hopkin 1996, s. 152.

5.4 Kaulan rakennus

Suunniteltaessa soitinta yhdessä tilaajan kanssa päädyttiin $\frac{3}{4}$ -kitaran kokoiseen soittimeen. Kielimensuuri eli kielten soiva pituus on kuitenkin normaalin akustisen kitaran yleinen mitta 650 mm. Soittimen kaulaan mietittiin jo alkuvaiheessa kahvaa, jotta soittajan käsi ei tahallisesti tai vahingossa pääsisi kaulan toiselle puolelle. Samalla siis päätettiin, että soitinta soitetaan vain yhdellä kädellä. Kahvan sijoitin kaulan takapuolelle normaalissa kitarassa vastaavan otelaudan osalta puoleenväliin. Näin kahvaan on helppo ylettyä. Katso kahvasta kuva 16 liitteessä 4.

Kaula on rakennettu yhdestä kappaleesta. Materiaaliksi valikoitui saarni, koska sitä sattui olemaan tarjolla. Muussa tapauksessa olisi voitu käyttää mitä tahansa soitinrakennuksessa hyväksi todettua kaulamateriaalia, kuten vaahteraa. Toki olisi voinut kokeilla harvinaisempiakin materiaaleja, mutta se olisi vaatinut enemmän aikaa ja kokeiluja materiaalin sopivuudesta. Tässä kaulassa paino ei pääse kasvamaan kovinkaan suureksi johtuen kaulan lyhyydestä sekä kevennyksistä, joita on tehty kannen alla olevaan kaulan osaan. Kaula on



Kuva 10. Kaulan sivu- ja etuprojektio.

kokonaispituudeltaan 841 mm ja näkyvältä osuudeltaan 471 mm kuvan 10 mukaan.

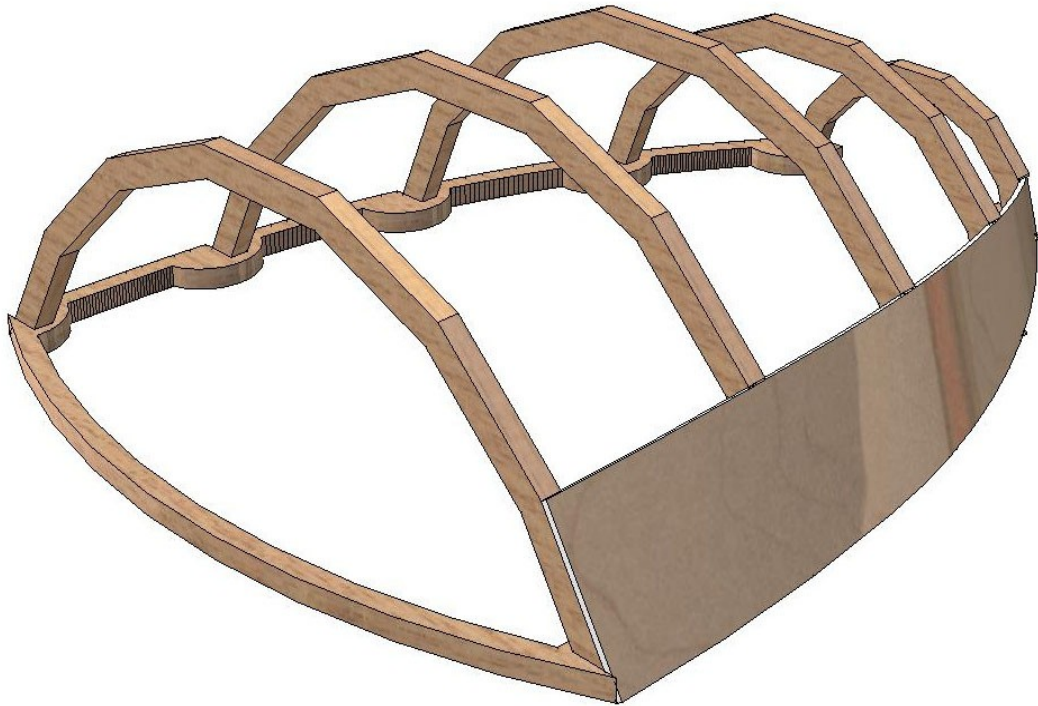
Kaulan karkean muotoilun tein vannesahalla, pyörösahalla ja oikohöylällä. Puun raakatyöstön jälkeen sahasin vannesahalla kaulan profiilin sekä yläpuolelta että sivusta. Viimeistelin kaulan käyttämällä mm. raspia, kavahöylää, oikohöylää sekä kulmahiomakoneeseen yhdistettyä pyöröraspia sekä hiomalaikkaa. Kaulan piiloon jäävät kevennykset sahasin sähköpistosahalla, jotka siistin lopuksi yläjyrsimellä.⁹⁰ Kaulan hioin kahteen kertaan eri karkeuksisilla hiomaverkoilla ja -papereilla. Koska ensimmäisestä soittimesta tulee ainoastaan akustisten toimintojen sekä ergonomisuuden testaamiseen tarkoitettu prototyyppi, en tehnyt yhtä huolellista pohjatyötä, mikä tarvitaan varsinaisen soittimen osalta. Tällä tarkoitin esimerkiksi varsinaisen soittimen pintakäsittelyn pohjatöitä kuten hiomista.

5.5 Kopan rakennus

Koppa muistuttaa ulkonäöltään arabialaisen luutun kulhomaista rakennetta. Arabialaistyyppisen luutun tunnusmerkkeinä ovat puolipyöreä, halkaistun päärynän muotoinen koppa ja tasainen kansi⁹¹. Rakenteessa olevat segmentit jatkuvat soittimen perään, jossa on taka-levy. Kopan runkona on kehämäinen tukirakenne, joka vahvistaa kaarevaa ulkopintaa kolhuja ja iskuja vastaan, katso kuva 11. Kopan tukirakenteet kiinnitetään joustavalla kiinnityksellä kaularakenteeseen.

⁹⁰Kts. Työkalujen nimityksistä esim. Jackson, Albert & Day, David: Työkalukirja. Helsinki 1978. Otava.

⁹¹Kontunen, Jorma: Soitinopas. Helsinki 1988, s.124–125. WSOY.



Kuva 11. Kopan kehämäinen tukirakenne. Ensimmäinen segmentti mallinnettuna.

Tukirakenteet valmistin vanerista paperille tulostettujen mallien avulla. Materiaaliksi valikoitui 9 mm koivuvaneri, jota on helposti saatavilla ja sen työstö on nopeaa ja helppoa. Tulostetut mallit kiinnitin vaneriin liimaamalla ja irroitin kappaleet levystä vannesahalla.

Segmentit oli alun perin tarkoitus valmistaa kokopuusta höyryn avulla taivuttamalla, mutta aikapulan ja resurssien vuoksi päädyin käyttämään ainakin prototyypissä 2 mm ohutviiluvaneria. Ohutviiluvaneria on helppo taivuttaa. Se on tehty neljästä puolen millin koivuviilusta, jossa laitimaiset kerrokset ovat liimattu yhteen suuntaan ja keskimmäiset poikittain ulommaisten kanssa. Se taipuu poikittaissuunnassa enemmän kuin pituussuunnassa kun katsotaan ulommaisten viilujen syysuuntaa.

Segmentit muotoilin ja liimasin yksi kerrallaan. Tietokonemallinnuskuvasta olisi periaatteessa pystynyt tulostamaan valmiit mallit, joiden perusteella olisi voinut leikata segmentit oikean kokoiseksi. Asia ei ole kuitenkaan käsityön kanssa niin yksinkertainen. Mitatessa saattaa tulla mittavirheitä, tulostetut mallit elävät hiukan liimatessa ja osien asettelu saattaa edellä mainituista ja muistakin syistä mennä useamman millin vinoon. Jos käytössä olisi

ollut CNC-jyrsin, olisi sillä tehtyjen valmiiden osien yhteen liittäminen ollut periaatteessa mahdollista. Tällä kertaa liimasin segmentin kerrallaan alkaen ulkoreunoista. Jokaisen liimauksen välissä sahasin edellisen segmentin reunan kulkemaan tukirangan valmiiden kulmakohdienten mukaan. Tämän jälkeen piirsin seuraavaan segmenttiin viivan tukirakenteen alapuolelta käyttäen juuri sahattua linjaa vastena. Sen jälkeen sahasin segmentin vanesahalla ja hioin reunan kulmahiomakoneen lamellilaikalla muotoonsa. Loppumuotoilun tein viilalla ja askarteluveitsellä.

Monista eri syistä johtuen segmenttien saumat eivät olleet tasaisia, joten sahasin ne vielä auki käsin ja täytin mustaksi värjätyllä epoksimassalla. Jos varsinaisen soittimen koppa tehdään paksummasta ja massiivisesta puusta höyrytaivuttamalla, antaa se enemmän työstövaraa. Lopuksi siistin koppaa hiomalla.

5.6 Soittimen kokoaminen

Soittimen kokoaminen oli haastavin, mutta samalla mielenkiintoisin työvaihe. Siinä liitin aluksi kaulan ja tasovärähtelijän sekä viritin kielet paikoilleen, jotta pääsin testaamaan soitinta. Lopuksi kiinnitin kopan, jotta pääsisin selville, miten paljon se vahvistaa soittimen äänenvoimakkuutta.

5.6.1 Kaulan kiinnitys

Koska kielten kokonaisveto vastaa noin 112 kg:n massaa maan vetovoimakentässä, päätin kielten kiinnityspisteiden olevan molemmista päistä kaulaan sidottuina ja tämä tarkoitti käytännössä sitä, että kaula jatkuu yhtä pitkälle kuin kielet. Kaulan kiinnitin tasovärähtelijään liimaamalla sen toisesta päästä suoraan värähtelijään kiinni. Kaulan muotoilin niin, että se koskee värähtelijään vain hyvin pieneltä alueelta. Kun kiinnitettävä alue on pieni, niin kaulan oma massa ei vaikuta niin paljoa kannen värähtelyyn. Samaan linjaan tämän alueen kanssa värähtelijän yläpuolelle kiinnitin soittimen tallan. Ohessa on kuva 12 tallan liimauksesta tasovärähtelijään.

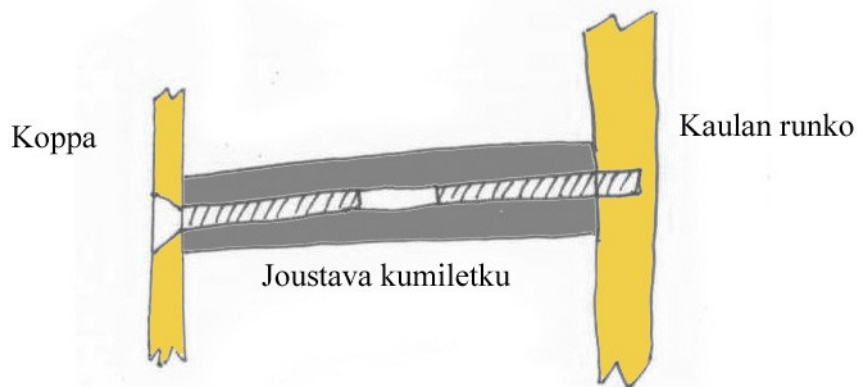


Kuva 12. Tallan liimaus muuhun soittimeen. Naulat toimivat kohdistajina.

5.6.2 Kopan kiinnitys

Ensimmäisissä suunnitelmissa koppa oli tarkoitus kiinnittää kannen tukirakenteisiin. Kuitenkin kaulan kiinnityksen vaihtuessa, vaihdoin myös kopan kiinnityspisteitä. Samoin, kiinnityspisteitä kokeiltaessa ilmeni, että tukevat kiinnitykset tukirimoituksessa vaimensivat reilusti kannen soivuutta. Edelleen, koska tukirakenne oli pienempi, ja kaularakenne ei enää tukisi sitä, tulisi tasovärähtelijästä kaulan ja kopan välinen tukirakenne, joka olisi helppo rikkoutumaan. Näistä seikoista johtuen päädyin kiinnittämään kopan kaularakenteeseen.

Kopan kiinnityksen tein neljästä eri pisteestä. Ripustuksessa käytin 4 mm kierretankoa, konekierreruuvia ja kumiletkaa. Kumivaimenteista ripustusta käytin oheisen kuvan 13 tapaan:



Kuva 13. Kopan kumiletkuripustus. Kierretankojen väliin jää tyhjää tilaa, josta muodostuu joustava osa.

Soittimen prototyypin valmistuttua ja tutkimuksen päätyttyä pro gradun osalta on soitin vielä raakile. Tämä on selvää, koska käyttäjäkokemuksia ei ole toistaiseksi. Prototyypissä ei myöskään ole huomioitu pintakäsittelyn tuomaa vaikutusta soittimen ääneen tai kestävyteen. Samoin virituskoneiston kehittäly jää pro gradun ulkopuolelle. Uskon, että sekä käyttäjäkokemuksista että myös tilaajan kommentaista saadaan reilusti lisää materiaalia soittimen kehittämiseen. Tämän tutkimuksen tuloksena on kuitenkin toimiva soitin, jota voi konkreettisesti testata.

6 TULOKSET

Seuraavissa luvuissa vastaan soittimen kehittämiseen liittyviin kysymyksiin sekä varsinaisiin tutkimuskysymyksiin. Luvussa 6.1 Käsittelen kehittämistä rakennusprosessiin muodostamieni design-kysymysten avulla. Luvussa 6.2 tarkastelen valmistunutta prototyyppiä luvussa 4 määrittelemieni ohjaavien kysymysten kautta. Luku 6.3 vastaa varsinaisiin tutkimuskysymyksiin.

6.1 Design-kysymysten tulokset

Design-prosessin edetessä palasin tietyin väliajoin tarkastelemaan ennalta määritettyjä kysymyksiä ja kohtia. Kysymykset tarkastelivat lähinnä rakennustyön etenemistä suunnitlusti, eivätkä ne tarkoita suoraan luvussa 4 esitettyjä *ohjaavia* kysymyksiä. Kysymykset jaottelin neljään osioon soittimen osien kielet, kaula, kansi ja koppa mukaan. Lisäksi lisäsin osion kokoonpano. Nämä kysymykset olivat omia päiväkirjamaisia, soittimen kehittämiseen liittyviä ennakoivia kysymyksiä. Ne kuitenkin ovat design-tutkimukselle oleellisia interventioita, joita määritellään etukäteen. Näitä kysymyksiä kutsun suunnittelu- tai design-kysymyksiksi.

Kielet:

Kielirakenteen toimivuus

→ Soivatko kielet hyvin?

→ Rasitusprosentin alue

Kielin veto

→ Tuleeko vetoa liikaa tai liian vähän?

→ Millä vedolla hyvä tuntuma?

Vedon yhteys kaulaan

→ Kestääkö rakenne?

Kielten pituus ja materiaali

→ ”kitaran tapainen soitin”

→ Kitaran kielet ja mensuuri

Kaula:

Mikä on kaulan pituus

→ Kielien pituus

Kestääkö kaula

→ Tarvitaanko kaularautaa l. vastaanvetävää voimaa?

Miten kaulasta pidetään kiinni

→ Kahvan sijoittelu

Kansi l. Tasovärähtelijä

Kannen jäykkyys ja paksuus

→ ominaistaajuus ja jäykkyys toivotulle alueelle

Jäykkyys, massa, värähtelyn nollakohdat

→ tukirimoituksen koko ja sijoittelu

Koppa:

Tukirangan materiaalipaksuus ja sijoitustiheys

→ riittävä fyysinen kestävyys

Segmenttimateriaalin valinta

→ höyrytaivutettu, (prototyypissä vaneri)

Kokoonpano:

Kopan kiinnitys, kaulan kiinnitys

→ Koppa kaulaan, kaula kanteen

Koin hyödylliseksi design-kysymysten jaottelun eri osien mukaan. Suunnittelussa mielenkiintoisinta oli ajatus siitä, että soitin on kysymysten avulla suunniteltu tavallaan yhden kerran valmiiksi, ennen kuin varsinainen rakentaminen ja suunnittelu alkavat. Tämäkin ajatus puoltaa design-tutkimuksen periaatetta syklien spiraalista.

Eniten ongelmia suunnitteluprosessin edetessä oli kielten osalta. Myös kaularakenteen kiinnitys soitimen muihin osiin oli haasteellista. Näin ollen myös design-kysymyksiin palaaminen aika ajoin oli erittäin hyödyllistä ja myös opettavaista. Kielien rasitusprosentin alue 36–74 % asettui Pölkin suositteluun 35–85 prosentin alueelle, joten olin tyytyväinen. Kielien tuntuma on hyvä. Mikään kieli ei erotu ryhmästään liian jäykkänä tai löysänä.

Kaulan suunnittelussa mitoittava tekijä oli kielten pituus. Kaulan rakenne oli alun perin itsessään tarpeeksi jäykkä kestämään kielistä aiheutuvan vedon. Kopan kiinnityksen yhteydessä tehty kaularakenteen kaventaminen pystytään korjaamaan seuraavassa soitimen versiossa. Kahvan sijoitin niin, että siihen tarttuminen ei muodostu ongelmaksi käden lyhyen pituuden takia.

Kannen sain värähtelemään ajattelemallani tavalla. Kuitenkin aina on kehittämisen varaa, ja seuraavaan versioon kehitän kantta värähtelemään paremmin. Tukirimoituksen sijoittelu onnistui hyvin. Kansimateriaali on suhteellisen pehmeää, ja seuraavassa soitimen versiossa pitää harkita, voisiko kannen laittaa vahvistaa jolloin iskunkestävämällä puolajilla.

Kopan tukirangan suunnitteluprosessissa tuli monia takaiskuja, jotka kuitenkin sain korjattua. Kopan kiinnitystä varten olisi kuitenkin pitänyt kehittää design-kysymyksiä enemmän, koskien erityisesti kopan osuutta ripustusmallissa. Toisaalta sen olisi voinut nostaa uudeksi design-kysymykseksi prosessin edetessä. Kaikkea ei voi kuitenkaan tietää etukäteen, ja ripustusmallin ongelmat nousivat esiin vasta hyvin myöhäisessä prosessin vaiheessa, koppaa jo soivaan soittimeen kiinnitettäessä. Seuraavaan soitimen versioon pyrin kehittämään tukevammat kiinnityspisteet jo suunnitelmavaiheessa. Kopan segmenttimateriaalin valinta prototyypissä osoittautui järkeväksi valinnaksi. Lentokonevanerin kestävyys on massiivipuuhun verrattuna huomattava vanerin eduksi. Jossain vaiheessa tutkimusta mietin myös

kopan vahvistamista lasikuidulla tai muulla kuitumateriaalilla, mutta tällä kertaa se jäi jatkotutkimusten aiheeksi.

6.2 Prototyypin ensihavainnointia

Uusi soitin toimii sekä rakenteellisesti että soinnillisesti. Pienen testausjakson aikana heti soittimen valmistuttua havainnoin soitinta luvussa 4 esiteltyjen kolmeen jaoteltujen aiheiden avulla. Seuraavassa kerron havainnoistani.

- **Äänenlaatu (voimakkuus, äänenväri)**
 - Ääni on voimakkuudeltaan kitaraa vastaava, jopa hieman voimakkaampi
 - Ääni muistuttaa paljon kitaran sävyä, mutta sointi on pitempi
 - Ylimääräinen bassokieli tuo tukevuutta soittimen alarekisteriin
 - → Soitin toimii äänellisesti odottamallani tavalla.
- **Kestävyys**
 - Kulhomainen kopan rakenne toteutettuna lentokonevanerista tuntuu kestävältä.
 - Kaularakenteessa on havaittavissa taipumista
 - Pintakäsittelyn vaikutus pintojen kestävyys on jää arvioimatta
- **Ergonomia (soitettavuus, käsiteltävyys).**
 - Soitinta on helppo käsitellä kahvan ansiosta
 - Soitin asettuu hyvin jalkojen väliin
 - Soitinta on helppo pitää ”selällään” sylissä
 - Soittava käsi asettuu helposti tallan päälle, josta soitinta on helppo soittaa.

Kehityskohteita huomasin havainnoissa muutamia. Heti soittimen valmistumisen jälkeen huomasin kaularakenteessa pientä taipumista, jonka tiesin etukäteen tapahtuvan. Kopan

kiinnityksen yhteydessä jouduin kaventamaan tasovärähtelijän alla olevaa kaularakennetta. Tästä johtuen se ei enää kestänyt taipumatta kielten vetoa. Alun perin suunnitelmissa oli käyttää myös vastavoimana jännitettävää kaularautaa, mutta kahvan ja kaulan muun muotoilun asettamien kaularaudan asennushaasteiden vuoksi se jäi pois. Uudessa versiossa pystyn kompensoimaan kaularakenteen taipumisen kaulaprofiilin korottamisella kannen alapuoliselta osalta.

Oletin myös, että saisin soittimesta vieläkin voimakkaamman äänen. Tasovärähtelijää herkemäksi virittämällä tämä saattaisi olla mahdollista, kuitenkin kestävyys saattaisi tällöin olla huonompi. Pitkäaikaisen kestävyuden lisäksi jää koesoittojen aikana tarkasteltavaksi kieliryhmiin osuminen esimerkiksi peukalolla tai siihen kiinnitettävällä plektralla. Myös muut ergonomiset ja soittotekniset ongelmat avautuvat kokonaisuudessaan – muiden soittimesta nousevien kehityskohteiden lisäksi – vasta käyttäjän päästessä kokeilemaan soitinta.

Eniten kehittämistä tässä vaiheessa näen rakenteiden yksinkertaistamisessa. Rakennusteknisesti soittimen jotkin osat olivat vaikeita, ja varsinkin sarjatuotantoa ajatellen erittäin haastavia rakennettavia.

6.3 Varsinaiset tutkimuskysymykset

Luvun 4 lopussa määrittelin tutkimuskysymykset soitinrakennusta ohjaavien kysymysten innoittamina. Seuraavassa tarkastelen kysymyksiin saatuja vastauksia, joita on ilmennyt sekä rakennustyön lomassa, että soittimen valmistuttua.

1. Miten design-tutkimus auttaa soitinrakennuksessa, joka ottaa huomioon erityiskohderyhmän?

En voi rajata design-tutkimuksen hyötyä soitinrakennuksessa pelkästään erityiskohderyhmän piiriin, vaan haluaisin ulottaa sen kattavan koko soitinrakennuksen kentän. Design-tutkimuksen merkitys korostuu silloin, kun halutaan ottaa jo suunnittelun alussa huomioon tarpeita ja rajoitteita, joita soittajalla on. Tämä näkökulma ei rajaa design-tutkimuksen hyötyä pelkästään erityisryhmiin, vaan se on käytettävissä minkä tahansa soittajalähtöisen soittimen suunnitteluprosessissa.

2. Mitkä seikat ovat tärkeitä suunniteltaessa uutta soitinta kehitysvammaiselle?

Tässä tutkimuksessa soitinta kehitettiin varta vasten kehitysvammaista käyttäjää ajatellen. Design-prosessin edetessä huomioni kiinnittyi eniten seuraaviin seikkoihin:

- Soitinta pitää pystyä käsittelemään mahdollisimman helposti.
- Soittimen soittamiseen ei tarvita kehittynyttä hienomotoriikkaa.
- Soittimen täytyy kestää fyysisesti kovaa käsittelyä.
- Soittamisen täytyy olla suoraviivaista ja soittimesta täytyy lähteä kuuluva ja selkeä ääni.

7 POHDINTA

Tämän tutkimuksen pääasiallisena ja näkyvimpänä tuloksena on toimiva uusi soitin. Toisijaisena näkyvänä tuloksena on tämä tutkielma, joka selventää soittimen suunnittelu- ja kehittämisprosessia. Kolmas tulos, joka ei näy suoraan, on oman ammattitaitoni, sen työtapojen ja tietotaidon, kehittyminen.

Jokainen akustinen soitin on yksilöllinen. Tämä johtuu monestakin asiasta, kuten siitä että kahdessa soittimessa ei voi käyttää täsmälleen samanlaista materiaalia. Vaikka työ olisikin tehty koneellisesti ja tietokoneohjatusti, tekee puun ominaisuuksien vaihtelu eroja jokaiseen soittimen välille. Samoin kun tehdään soitin käsityönä, ei samanlaisia työliikkeitä ole mahdollista tehdä. Tässä tutkimuksessa ei kuitenkaan lähdetty etsimään työtapoja tai varsinaisen soittimen ominaisuuksiin liittyviä yleistyksiä, vaan pikemminkin näkökulmia, jotka ohjaavat soittimen rakennusta erityisryhmät huomioonottaen. Samoin soittimen akustiset periaatteet kieliryhmistä ja tasovärähtelijästä lähtien ovat siirrettävissä muihinkin soitinko-keiluihin.

Kuten tuloksista voidaan huomata, tutkimustehtäväni jakautui kahteen osaan. Ensimmäinen osa on käytännöllinen, soitinta design-kysymysten avulla kehittävä ja toinen design-tutkimuksen tarkoituksenmukaisuuden erityissoitinten rakennuksessa sekä soittajasta lähtevien tarpeiden painoarvon tutkintaa. Käytännöllisen puolen osalta olen tyytyväinen design-kysymysten tuomaan hyötyyn soittimen suunnittelu- ja rakennusprosessia kehitettäessä. Samoin varsinaisten tutkimuskysymysten osalta olen erittäin tyytyväinen. Design-tutkimusotteen käyttö soitinrakennuksessa osoittautui päteväksi vaihtoehdoksi, jota mielestäni voi hyvin soveltaa muuallakin soitinrakennuksessa. Toisen tutkimuskysymyksen tärkein anti on sen käytettävyyden tutkimuksen edelleen edetessä. Tällöin siihen voidaan liittää myös tapauskohtaisia ehtoja, kuten tässä tapauksessa Riitan käyttökokemuksista nousevia ongelmia ja kehityskohteita soittimen osalta.

Mielestäni tutkimus oli onnistunut, mutta huomionarvoisinta on kuitenkin se, että tutkimus jatkuu tästä eteenpäin. Soitin pääsee käyttäjälle testattavaksi ja testauksesta saatavia tietoja käytän edelleen soittimen kehityksessä. Myös tämän tutkimuksen liikkeelle laittanut ajatus ”Riitalle oma soitin” on nyt edennyt ison harppauksen eteenpäin.

Myös oman soitinrakennustaitoni kehittyminen tutkimuksen aikana oli huomattavaa. Vaikka jotkut työtavat ja soittimien periaatteet tiesin teorian tasolla, vasta käytännön tutkiminen ja rakentaminen avasivat ne tietotaidolliseksi pääomaksi. Jatkotutkimusta omista työtavoistani voisi ajatellen ammattitaidon syvempää tiedostamista – miksi ja miten teen – jatkaa esimerkiksi refleктоimalla nyt tehdyn designprosessin eri vaiheita.

LÄHTEET

- Eerola, T & Louhivuori, J & Moisala, P (toim.). Johdatus musiikintutkimukseen. 2003. Helsinki: Suomen musiikkitieteellinen seura.
- Faste, T & Faste, H. 2012. 'Demystifying "Design Research": Design is Not Research, Research is Design', IDSA Education Symposium. Boston: Industrial Designers Society of America.
- Fletcher, N & Rossing, T. 1991. The Physics of Musical Instruments. New York: Springer-Verlag.
- Forster, C. 2010. Musical Mathematics. San Fransisco: Chronicle books.
- Grönstrand, E. 2007. Kuopiossa soi: Riitta Hannikainen laulaa tunteella ja taidolla. Ketju 3/2007. Kehitysvammaliitto.
- Hannikainen, P-L. MuT. Suullinen tieto 2.10.2011.
- Hannikainen, P-L. MuT. Suullinen tieto 5.3.2013.
- Hallitus antoi eduskunnalle vammaispoliittisen selonteon. Tiedote 178. 2006. Helsinki: Sosiaali- ja terveysministeriö.
- Heikkinen, H & Rovio E & Syrjälä L. 2007. Toiminnasta tietoon. Helsinki: Kansanvalistusseura.
- Hopkin, B. 1996. Musical instrument design. Tucson: See Sharp Press.
- Jackson, A & Day, D. 1978. Työkalukirja. Helsinki: Otava.
- Jordan-Kilkki, P & Kauppinen, E & Korolainen-Viitasalo, E (toim.). Musiikkipedagogin käsikirja. 2013. Helsinki: Opetushallitus.
- Josten, E & Reiche, T & Wittchen. B. Holzfachkunde. 2008. Berlin: Vieweg +Teubner.
- Kastinen, A. Erään 15-kielisen kanteleen akustisesta tutkimuksesta. 2000. Helsinki: Sibelius-Akatemian kansanmusiikin osasto.
- Kohonen, V. 2005. Kytkinapuväline kosketinsoittimeen. Kuopio: Savonia AMK.
- Koivunen, H. 1997. Hiljainen tieto. Helsinki: Otava.

- Kontunen, J. 1988. Soitinopas. Helsinki: WSOY.
- Lundberg, R. 2002. Historical Lute Construction. Washington: Guild of American luthiers.
- Manninen, A & Pihko, H & Kaski, M. (toim.) 2012. Kehitysvammaisuus. Helsinki: Sanoma Pro Oy.
- Miranda, E. 2002. Computer Sound Design: Synthesis techniques and programming. Oxford: Focal Press.
- Mäkelä, J. Soitinrakentaja. Suullinen tieto 4.4.2013.
- Nieminen, R. 2008. Soitinten tutkiminen rakentamalla. Sibelius-Akatemian Kansanmusiikin osaston julkaisu 12. Helsinki: Sibelius-Akatemia.
- Nieminen, R. & Pölkki, J. 2004. Soiton synty 1. (julkaisematon)
- Risset, J-C. 1993. Synthèse et matériau musical. Teoksessa D. Cohen-Levinas (toim.), La synthèse sonore, s. 43-65. Les cahiers de l'IRCAM 2. Paris: IRCAM.
- Rossing, T. 1990. Science of sound. 2nd edition. Illinois: Addison- Wesley.
- Rossing, T. 2007. Springer Handbook of Acoustics. New York. Springer.
- Räsänen, J. 2011. Sormina – A new musical instrument. Publication series Doctoral Dissertations. Helsinki: Aalto University.
- Salmenhaara, Erkki. 1974. Sointuanalyysi. Helsinki: Otava.
- Salo, J. 2011. iPad apuna soittamisessa. Ruskiss -vuosijulkaisu 2. Helsinki: Ruskeasuon koulu.
- Särkämö, T & Laitinen, S & Numminen, A & Tervaniemi, M & Kurki, M & Rantanen, P. 2011. Muistaakseni laulan. Helsinki: Miina Sillanpään Säätiö.
- Thomann, G & Rasoulifar, R & Museau, M & De Castro Perez, D. 2009. Satisfying the needs of the handicapped to aid design education: Case Study. Broughton: Grenoble Institute of Technology.
- Veytizou, J & Xuereb, H & Thomann, G. 2013. Design of a clip product based on customer needs for playing acoustic music. Bochum: Grenoble Institute of Technology.
- ikata.lpkky.fi (viitattu 28.3.2013) Ikaalisten käsi- ja taideteollisen oppilaitoksen sivusto.

melinda.kansalliskirjasto.fi (viitattu 19.3.2013) Kansalliskirjaston sivusto.

www.edu.fi/erityinen_tuki/yhteinen_koulu_kaikille (viitattu 3.4.2013) Opetushallituksen sivusto.

www.ouka.fi/kirjasto (viitattu 19.3.2013) Oulun kaupunginkirjaston sivusto.

www.midi.org (viitattu 27.4.2013) Official MIDI Manufacturers site.

www.mybreathmymusic.com/ (viitattu 29.3.2013) Magic flute-soitinta esittelevä sivusto.

www.resonaari.fi (viitattu 20.3.2013) Musiikin erityispalvelukeskus Resonaarin sivusto.

www.zoombyspiel.fi (viitattu 1.5.2013) Raittius- ja urheiluseura ZOOM ry:n sivusto.

LIITTEET

Liitteissä on esitetty kielilaskujen kaavat, kuva kielen laskentadokumentista sekä kolme kuvaa valmiista soittimen prototyypistä.

Liite 1

Peruskaava:

$$V = 4 F^2 Z L^2$$

V= veto newtoneissa, kgm/s²

F= taajuus hertseissä (1/s)

Z= kielen massa pituusyksikköä kohti (kg/m)

L= soiva pituus (m)

josta johdetut kaavat käytettäväksi taulukkolaskentaohjelmassa:

$$F = \sqrt{V / (4 * Z * L^2)}$$

$$L = \sqrt{V / (4 * F^2 * Z)}$$

Kieliaineksen massan laskeminen pituusyksikköä kohti:

$$Z_k = \left(\left(\frac{d}{2} \right)^2 * \pi * T_y \right) + \left(\left(\left(\frac{D}{2} \right)^2 - \left(\frac{d}{2} \right)^2 \right) * \pi * 0,7854 * T_p \right)$$

Z_k = Kielen kokonaismassa, kg/m

d = sydänlangan halkaisija, m

D = Koko kielen halkaisija, m

T_y = sydänlangan tiheys, kg/m³

T_p = punosaineen tiheys, kg/m³

Jos punosta ei ole, merkataan punoksen osuus tyhjäksi.

Rasitusprosentin laskeminen:

$$\% = 100 * V / \left(\left(\frac{d}{2} \right)^2 * \pi * R \right)$$

jossa R= sydänlangan aineksen murtolujuus

Kielenlaskentaohjelma kolmisointuiselle kitaralle, kun tiedetään taajuus, kielen halkaisija ja soiva pituus									
Kielet			muttoluj	1750 ydinlangan tiheys		7850 punosm. tih.		8731	
				N/mm ²		kg/m ³		kg/m ³	
Ryhmä 1									
	Spituus (mm)	sydänl. Ø	Veto (N)	rasituspros.	Kokonais.Ø	Taajuus (Hz)	Z = kg/m	Z, punos	
C	650,0	0,55	149,7	36,0	1,95	65,40	0,0207	0,0189	
c	650,0	0,40	116,1	52,8	0,85	130,81	0,0040	0,0030	
e	650,0	0,40	94,7	43,1	0,60	164,81	0,0021	0,0011	
g	650,0	0,30	92,0	74,3	0,50	196,00	0,0014	0,0009	
Ryhmä 2									
f	650,0	0,35	88,9	52,8	0,55	174,61	0,0017	0,0010	
g	650,0	0,30	92,0	74,3	0,50	196,00	0,0014	0,0009	
h	650,0	0,40	101,7	46,2	0,40	246,94	0,0010	0,0000	
d1	650,0	0,30	80,9	65,4	0,30	293,67	0,0006	0,0000	
Ryhmä 3									
f	650,0	0,35	88,9	52,8	0,55	174,61	0,0017	0,0010	
a	650,0	0,45	102,1	36,7	0,45	220,00	0,0012	0,0000	
c1	650,0	0,35	87,4	51,9	0,35	261,63	0,0008	0,0000	
		veto yht	1094,3 N						
			111,55 kg						

Kuva 14. Laskentadokumentin rakennekuva.

Liite 3

Kuva 15. Valmistunut prototyyppi edestä.

Liite 4

Kuva 16. Soitin sivulta, kuvassa myös kahva.



Kuva 17. Kopan segmenttirakennetta.