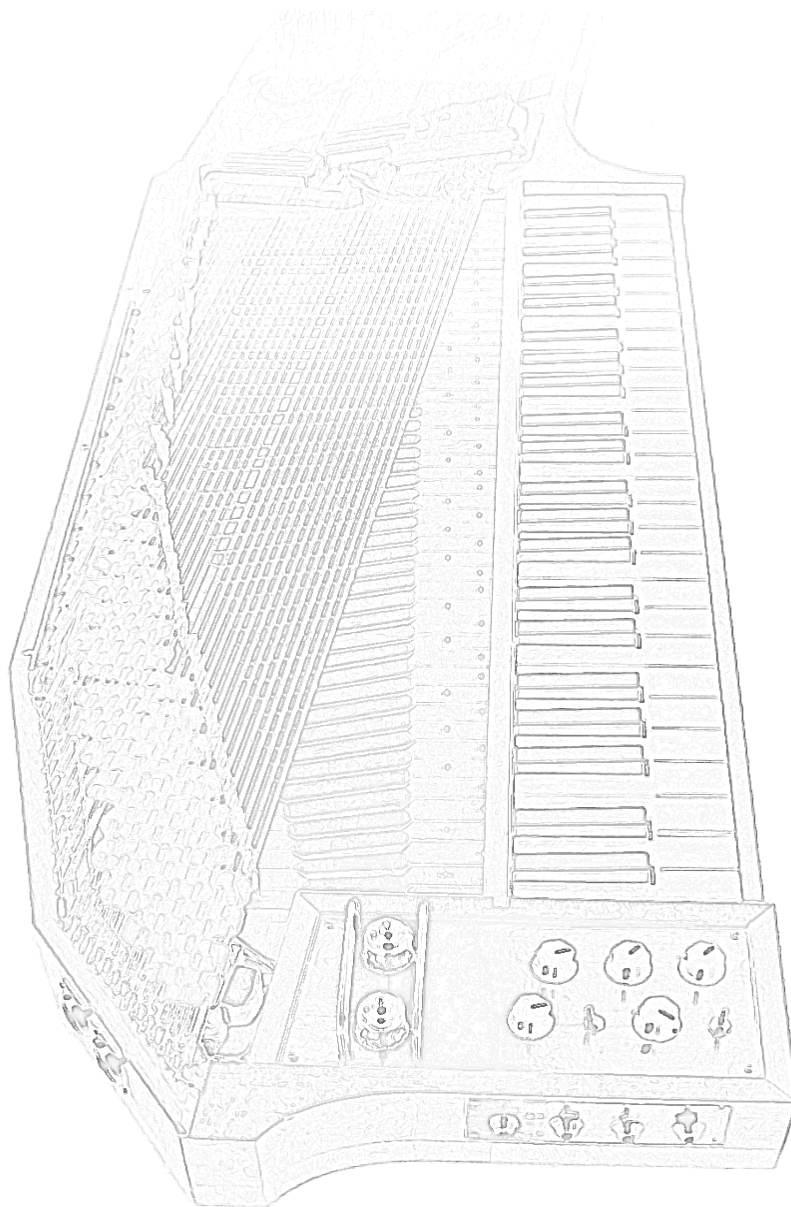


# Sähköklavikordi

akustisten, sähköisten ja mekaanisten ratkaisujen perusteet ja toteutus  
uudessa sähköakustisessa klavikordissa



Kirjallinen työ musiikkiteknologian maisterintutkintoa varten

Sibelius-Akatemia, musiikkiteknologian osasto

Knif, Jonte

2005

Sähköklavikordi, akustisten, sähköisten ja mekaanisten ratkaisujen perusteet ja toteutus uudessa sähköakustisessa klavikordissa

Kirjallinen työ musiikkiteknologian maisterintutkintoa varten

Sibelius-Akatemia, musiikkiteknologian osasto

Knif, Jonte

30.3.2005

Asiasanat: sähköklavikordi, klavikordi, sähköakustiset kosketinsoittimet, soitinrakennus

Klavikordi on ilmaisuvoimainen mutta äänenvoimakkuudeltaan hyvin hiljainen kosketinsoitin. Sen ominaisuuksiin kuuluu esimerkiksi kyky tuottaa vibraattoja. Tämä työ on kuvaus sähköakustisen klavikordin suunnittelusta, rakentamisesta ja sen ominaisuuksien ja estetiikan arvioinnista. Kyseinen soitin ei ole ensimmäinen laatuaan maailmassa, mutta tietääkseni perinpohjaisimmin suunniteltu ja analysoitu. Tutkin aikaisempia sähköklavikordikokeiluja ja niihin liittyvää estetiikkaa käsittelevää aineistoa. Suunnittelin soittimen niin sanotusti puhtaalta pöydältä, eli se ei ole minkään perinteisen klavikordin sähköadaptaatio. Lähtökohtanani suunnittelussa ei ollut vain akustisen klavikordin äänen sähköinen vahvistaminen. Tarkoitukseni oli luoda soitin, jossa on akustisen klavikordin ominaisuuksia, mutta oma omalaatuinen sointinsa, joka on sähköisesti muokattavissa ja vahvistettavissa. Materiaalit ja työmenetelmät muistuttavat perinteisissä klavikordeissa käytettyjä varsinaista sähköistämistä lukuun ottamatta. Kuvailen työssä suunnitteluun vaikuttaneet teoreettiset, akustiset ja esteettiset seikat sekä rakennusprosessin etenemisen. Esittelen keskeiset suunnitteluhaasteet ja niiden ratkaisut. Arvioin soitinta subjektiivisesti ja akustisin analyysimenetelmin. Käytin analyysiohjelmitonaa winmls:ää, jolla tein havaintoja soittimen äänen rakenteesta ja sen soittoteknisistä ominaisuuksista. Totesin että perinteisen klavikordin ominaisimmat hyveet ovat säilyneet, ja lisäksi äänen vahvistaminen mahdollistaa monien uusien soittotekniikoiden ja äänenvärien käytön, mikä entisestään laajentaa sähköklavikordin ilmaisullista skaalaa. Mittaukset paljastivat monia mielenkiintoisia ominaisuuksia klavikordin akustiikasta ja soittoteknisistä erikoisuuksista. Työ sisältää rakennepiirustukset ja kytkentäkaaviot, mutta sen tarkoituksena ei ole olla rakennusopas.

# Sisällys

Terminologiaa ja käsitteitä.....	5
1 Johdanto .....	8
2 Taustaa .....	9
2.1 Klavikordin lyhyt historia .....	9
2.2 Klavikordin asema soittimena ja sen estetiikka .....	13
2.2.1 Perinteisen klavikordin soinnin ja soitettavuuden erityispiirteitä .....	13
2.3 Sähköisten (kosketin)soitinten historiasta ja olemuksesta .....	15
2.4 Sähköpianot.....	16
2.4 Sähköcembalot .....	16
2.5 Hohner Clavinet .....	16
2.6 Varhaisempia sähköklavikordikokeiluja .....	17
3 Suunnittelun lähtökohdat .....	20
3.1 Havaintoja ennen suunnittelua .....	20
3.2 Ääniala .....	20
3.3 Sidotut äänet.....	20
3.2 Mensurointi ja kielityksen suunnittelu .....	21
3.4 Äänenpoimintatekniikoista .....	26
3.5 Kieli- ja mikrofoni-ryhmät .....	27
3.6 Akustiikkaa kiitos! .....	28
3.7 Soittimen muodon synty .....	28
3.7 Soittimen viritysjärjestelmästä .....	30
3.8 Elektroniikka .....	32
3.8.1 Magneettimikrofonit .....	33
3.8.2 Pietsomikrofonit.....	34
3.8.3 Esivahvistinosion rakenteesta .....	36
3.8.4 Virtalähteen kytkentä .....	36
3.8.5 Gate- eli avainnuspulssi .....	37
3.9 Mikrofonien suunnittelusta .....	39
3.9.1 Sydänmateriaalit ja geometriat.....	40
3.9.2 Käämien rakenne.....	41
4 Rakentaminen.....	44
4.1 Runko .....	44
4.2 Koskettimisto .....	45
4.3 Kaikupohja ja kielisillat .....	45
4.4 Koskettimien viimeistelyä.....	48
4.5 Kielitysvalmisteluja.....	48
4.6 Kielitys .....	48
4.7 Tangentit .....	49
4.8 Mikrofonit .....	49
4.9 Muu elektroniikka .....	50
5 Kaikupohjan ja -kopan analysointia.....	52
5.1 Helmholtz-resonanssin siirto.....	54
6 Sähköklavikordin soinnin ja soitettavuuden arviointia.....	56

6.1 Soinnin alustavaa subjektiivista arviointia.....	56
6.2 Keskeiset ongelmat .....	57
6.2.1 Sähkömagneettiset häiriöt .....	57
6.2.2 Kielten vaimennuksen puutteet .....	58
6.2.3 Magneettimikrofonien puutteista .....	60
6.3 Muita soinnin piirteitä .....	62
6.3.1 Äänen aluke.....	62
6.3.2 Äänen lopukkeet .....	64
6.4 Kaikupohjan ja kaksoiskielityksen vaikutus sointiin .....	65
6.5 Dynamiikka .....	68
6.6 Kosketuksesta.....	69
6.7 Muita soittotekniikoita .....	70
6.7.1 ”Tragen der Töne” .....	70
6.7.2 ”Rummutus” .....	71
6.7.3 Huiluäänet .....	71
6.8 Kypsyneempiä subjektiivisia havaintoja.....	72
7 Rakenteellista arviointia.....	74
7.1 Vireen pysyvyys.....	74
7.2 Rungon muotolujuus .....	74
8 Lähteet.....	75
Internet-lähteet .....	76
Liitteet .....	77
Valmistusmateriaalit ja komponentit .....	77
Pintakäsittelyaineet .....	78
Koko signaalelektronikka .....	79
Valokuvia .....	80
Soittimen rakennepiirustus.....	82

# Terminologiaa ja käsitteitä

**Akustinen impedanssi**, suure joka kuvaa kappaleille tai väliaineille ominaista kykyä vastaanottaa tai luovuttaa värähtelyenergiaa. Kappale, jonka impedanssi on pieni, ottaa energiaa helpommin vastaan kuin suuri-impedanssinen kappale. Suure on kompleksinen ja taajuusriippuvainen.

**AlNiCo**, varhainen kestopagneettimateriaali, joka on edelleen suosittu varsinkin magneettimikrofoneissa. Metalliseos joka koostuu alumiinista, nikkelistä ja koboltista.

**Amplitudi**, joko sähköisen tai akustisen aaltoliikkeen laajuus.

**Epäharmonisuus**, soittimen kielen vääntöjäykkyyden tuottama osasävelten poikkeaminen harmonisen sarjan mukaisilta paikoiltaan. Mitä jäykempi (paksumpi) kieli on, sitä enemmän epäharmonisuutta siinä esiintyy.

**Ferromagneettinen materiaali**, aine joka vahvistaa ulkoisia magneettikenttiä ja vaikuttaa magneettivuon kulkuun ympäristössään.

**Gate-pulssi, avainnuspulssi**, analogisyntetisaattorien aikakauden ohjaussignaali. Voi välittää vain tilat päällä ja pois.

**Intarsia**, leikatuista puuviilun kappaleista koottu kuva tai koristepinta.

**J-FET, junction field effect transistor**, elektroniikan peruskomponentti, jolla voidaan toteuttaa pienikohinaisia yksinkertaisia vahvistimia, joilla on suuri ottoimpedanssi.

**Kaikupohja**, tässä tutkielmassa ohut, usein levymäinen rakenne, joka muuttaa kielen värähtelyitä ilmaääneksi. Esimerkiksi sähkökitaran runkoa ei tässä yhteydessä pidetä kaikupohjana. Termin tarkka merkitys vaihtelee yleisesti monissa kielissä.

**Kaskadikytkentä, kaskadointi**, elektroniikan kytkentäperiaate, jossa kaksi peräkkäin kytkettyä komponenttia toimivat yhdessä muodostaen vahvistimen, jonka ottokapasitanssi on mahdollisimman pieni.

**Klavikordi**, (historiallinen) kosketinsoitin jossa kielet saatetaan soimaan metallisilla kiiloilla, jotka on kiinnitetty kosketinvarren toiseen päähän.

**Keskipinna**, metallinen pinna joka kiinnittyy koskettimiston keskipinnapalkkiin. Kosketinvarren vipuliike tapahtuu tämän pinnan varassa.

**Kosketinvarsi**, koskettimiston puinen perusosa, joka toimii soitettaessa vipuna välittäen sormen liikkeen ja voiman tangenttiin.

**Magneettinen mikrofoni**, käämin ja kestmagneettien muodostama rakenne, joka muuttaa kestmagneettien läheisyydessä liikkuvan ferromagneettisen aineen liikkeen sähköiseksi jännitteeksi.

**Mensurointi**, soittimien kielten soivien pituuksien määrittäminen.

**Mensuuri**, kielen pituus, tai etenkin normalisoitu kielen pituus. Historiallisissa kosketinsoittimissa normalisointi tehdään suhteessa  $c^2$ :een.

**Ohjainvä**, kosketinvarren takapäähän kiinnitetty, usein levymäinen pieni kappale, joka liikkuu pitkin ohjauslistan uraa.

**Ohjauslista**, koskettimiston takaosassa sijaitseva lista, jossa on pystysuuntaisia rakoja kosketinvarsien takapäiden ohjaamiseksi.

**Pietsosähköinen mikrofoni**, mikrofoni, joka muuttaa siihen kohdistuvan paineen tai taivutuksen sähköiseksi jännitteeksi tietyille kiteille ominaista pietsosähköistä ilmiötä hyödyntäen.

**Punottu kieli**, kieli, joka koostuu ydinlangasta ja sitä kiertävästä punoslangasta. Klavikordin bassossa käytetään usein punottuja kieliä monien muiden soittimien tavoin tuottamaan kieleen edullisempi massan ja jäykkyyden suhde ja näin muodoin parempi osasävelpuhtaus kuin monofilamenttisessä kielessä.

**Puoliakustinen soitin**, soitin jossa on selvästi ilmaääntä tuottavia rakenteita, mutta jota normaalisti käytetään vahvistinlaitteen kanssa. Termi on vakiintuneessa käytössä erityisesti kitaroista puhuttaessa. Tässä tutkielmassa käytän termiä myös klavikordista.

**Pythagoraan komma**, lukusuhde seitsemän peräkkäisen oktaavin ja 12:n kvintin välillä. Viritysjärjestelmien kuvauksien perusyksikkö. Likimäärin 23,5 centtiä.

$$\frac{\left(\frac{3}{2}\right)^{12}}{\left(\frac{2}{1}\right)^7} = 1,0136 \dots$$

**Pythagoralainen mensuuri**, tapa määrittää kielten pituus kääntäen verrannolliseksi sen tuottamaan taajuuteen. Tuottaa samaa kielipaksuutta käytettäessä saman kielijännitteen kaikkiin ääniin. Käytössä yleensä kosketinsoittimien diskanttipäässä.

**Sidottu klavikordi**, klavikordi jossa yleensä osalla äänialaa saadaan yhdeltä kieliparilta vähintään kaksi vierekkäistä säveltä siten, että vierekkäisten koskettimien tangentit lyövät samaan kielipariin, mutta eri etäisyydelle kielisillasta. On olemassa useita eri järjestelmiä, yleisin ollen kahden vierekkäisen sävelen sitominen seuraavalla tavalla: c-cis, d, es-e, f-fis, g-gis, a, b-h. Tässä järjestelmässä vapaaksi jäävät sävelet d ja a.

**Sitomaton klavikordi**, klavikordi jossa jokaiselle koskettimelle on oma kieliparinsa.

**Suojamaa**, verkkosähköpistokkeiden napa, joka on yhteydessä maapotentiaaliin. Suojamaan tarkoitus on nimensä mukaisesti sähköturvallisuuden lisääminen, mutta herkät elektroniset instrumentit saavat siitä myös poistopisteen häiriöpotentiaaleille.

**Sähköakustinen soitin**, (akustinen)soitin jossa lopullisen kuultavan äänen tuottaa sähköinen vahvistus joko kokonaan tai osittain.

**Sähköklavikordi**, tässä tutkielmassa mikä tahansa klavikordi, jonka ääntä vahvistetaan sähköisesti. Tarkempi termi olisi sähköakustinen klavikordi.

**Tangentti**, (klavikordin mekaniikassa) metallinen kiila, jonka kosketinvarren liike saattaa kontaktiin kielen kanssa.

**Tragen der Töne**, klavikordin soittotekniikka, jolla tuotetaan koskettimen painalluksella yksi tai useampi korostus keskelle ääntä.

**Vaimenninhuopa**, klavikordin kielten lomaan, soivasta pituudesta vasemmalle, kielten takapinnoihin päin löyhästi punottu huopakaistale, joka vaimentaa kielen värähtelyn, kun kosketin päästetään ylös.

**Verhokäyrä**, amplitudin muutos ajan funktiona eli miten esim. äänen voimakkuus muuttuu sävelen keston aikana.

**Viritysjärjestelmä**, tietty tapa määrittää sävelille paikat oktaavissa ja jakaa vääjäämätöntä epäpuhtautta oktaavin eri intervalleille määritellyllä tavalla.

**Värähtelymoodi**, kappaleelle tai rakenteelle ominainen värähtelytaajuus ja värähtelyn jakauma kappaleessa. Kaikupohja pystyy vahvistamaan niitä kielten värähtelyjen osasäveliä, joiden taajuus on riittävän lähellä jonkin kaikupohjamoodin taajuutta.

**Vääntötuki**, puinen palkki klavikordin rungossa, jonka on tarkoitus vähentää klavikordille tyypillistä taipumusta rungon kiertymiseen kielten tuottaman vedon vaikutuksesta.

# 1 Johdanto

Sähköklavikordin kehitystyön taustalla ovat pitkäaikainen kiinnostukseni soitinrakennukseen ja -akustiikkaan sekä viehtymykseni klavikordin nerokkaan yksinkertaiseen rakenteeseen, joka mahdollistaa monia muille perinteisille kosketinsoittimille tuntemattomia soittotekniikoita tai ilmaisukeinoja. Erityisesti olen suunnitellut ja rakentanut cembaloita ja vasaradulcimereita, mutta myös klavikordin rakenteet ja ominaisuudet ovat tulleet tutuiksi soitinrakennuskursseilla ja omaehtoisen kokeilun kautta.

Keväällä 2002 tein ensimmäisen, kaksioктаavisen koesoittimen. Tässä vaiheessa en ollut tietoinen siitä, että sähköklavikordeja oli kehitelty jo ennen kuin olin syntynytään. Näin jälkeempäin minun on helppo hymyillä naiiviudelleni, koska kaikenlaiset sähkömekaaniset kosketinsoittimet ja perinteisten soittimien sähköistäminen olivat perin läpikoluttuja alueita jo 1970-luvun alussa.

Koesoitin oli kaikupohjaton ja siihen riitti yksi sähkökitaran mikrofoni. Monista puutteistaan huolimatta se toimi melko hyvin, ja uskoin pystyväni viemään konseptin vielä selvästi pidemmälle. Pitkäaikaisen elektroniikkaharrastukseni takia minulla oli mahdollisuudet omaksua mikrofoniin suunnitteluun ja rakentamiseen tarvittavat tiedot ja taidot, mikä oli keskeistä jatkon kannalta, koska en uskonut löytäväni sopivia mikrofoneja valmiina. Muita korvaamattomia tekijöitä olivat soitinrakentaja Arno Pellon apu ja versta, sekä oma pieni kellarityötilani, jossa minulla oli mahdollisuudet tehdä rauhassa lähes loputtomia kokeita ja rakentaa soitin valmiiksi. Vain alkupään työt vaativat ammattimaisen ja hyvät koneet sisältävän verstaan.

En uskonut, että klavikordin soinnin perusluonne olisi vahvistettavissa ilman jonkinlaista vieraannuttavaa tekijää, enkä lähtenytään sitä yrittämään. Sen sijaan otin lähtökohdaksi pikemminkin samantyyppisen transformoinnin, jonka kohteeksi esimerkiksi kitara on tunnetusti joutunut. Sähköistäminen muutti kitaran ominaisuuksia niin paljon, että tuloksena oli oikeastaan kokonaan toinen soitin. Koska sekä lankkumallinen sähkökitara että kokeilusoittimeni ovat soinniltaan hiukan persoonattomia tai kylmiä ilman signaalin jonkinasteista muokkausta, päädyin lopulta puoliakustiseen rakenteeseen. Ratkaisun vaikutukset sointiin osoittautuivat lopulta moninaisimmiksi kuin alun perin oletinkaan ja akustiset mittaustulokset paljastivat monia jatkotutkimuksen aiheita myös perinteisen klavikordin akustiikasta.

## 2 Taustaa

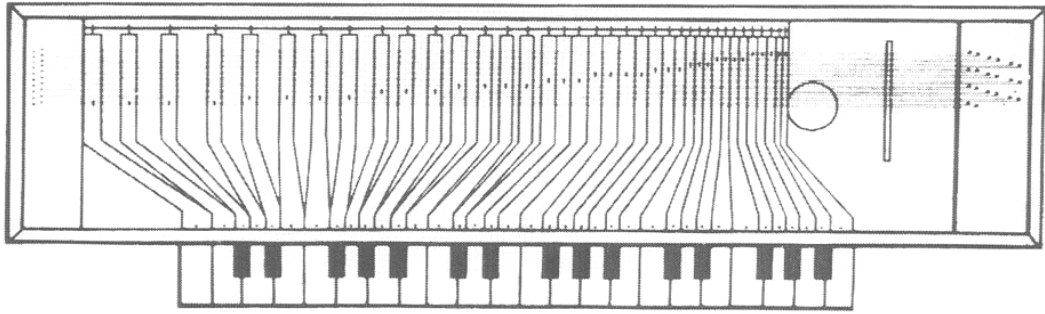
### 2.1 Klavikordin lyhyt historia

Klavikordin olemassaolosta ei ole varmennettuja tietoja ennen 1400-lukua (Brauchli 1998, s.17), mutta tällöin soitin oli jo niin pitkälle kehittynyt, että sen oli täytynyt olla olemassa jo pidempään. Klavikordin kehityksen lähtöpisteenä pidetään sitä, kun joku keksi tehdä teoreetikkojen suosimasta havainto- ja tutkimusvälineestä, monokordista, koskettimellisen version. Tällaisessa soittimessa koskettimien päihin kiinnitetty tangentit lyövät eri kohtiin kieltä tuottaen asteikon eri sävelet. Vähitellen kielten lukumäärää alettiin lisätä, toisaalta äänialan kasvattamiseksi, toisaalta moniäänisyyden mahdollistamiseksi, mutta muutoksen etenemistä ei tunneta yksityiskohtaisesti.

Täysipainoiseksi polyfonisen musiikin soittimeksi klavikordi oli kehittynyt viimeistään 1400-luvun alussa. Esimerkiksi kuvassa 2.1 näkyvässä Arnault de Zwollen noin vuonna 1440 kuvaamassa klavikordissa kolme tai neljä vierekkäistä ääntä jakavat saman kieliparin eli se on kolmois- ja nelossidottu. Sidonnat on järjestelty siten, että kaikki keskiajan musiikissa käytetyt konsonanssit ovat soitettavissa. (esim. d-f, mutta ei dis-fis.) Kielisilta on suora ja korkea, kaikupohja jatkuu koskettimiston alle ja kaikissa äänissä on sama mensuuri, mitä voi pitää jäänteinä koskettimistolla varustetun monokordin rakenteesta. Ilmeisesti kaikki kielet ovat olleet samaa paksuutta ja samassa jännitteessä. Piirustuksesta näkyy hyvin, miten vierekkäisten äänten tangentit ovat diskantissa erittäin lähellä toisiaan ja bassossa taasen kaukana. Kosketinvarret ovat sidontojen mahdollistamiseksi jyrkillä mutkilla. Piirustus on tehty niin tarkasti, että viritysjärjestelmäkin on siitä laskettavissa. Kielet ovat soittimen pitkän sivun suuntaiset. Vasta noin vuonna 1640 siirryttiin käyttämään vinosti soittimen yli kulkevia kieliä. Viritystapit ovat oikeassa päädyssä ja kaikupohjassa on ääniaukko. Koskettimisto tulee ulos soittimen rungosta. Myöhemmin koskettimisto siirtyi soittimen rungon etureunan tasalle tai sai reunukset, mikä teki siitä suojatumman. Soitin on parikielitetty ja kyseinen rakenneratkaisu tuli säilymään klavikordeissa hyvin harvoja poikkeuksia lukuun ottamatta klavikordin kukoistuskauten loppuun saakka.<sup>1</sup>

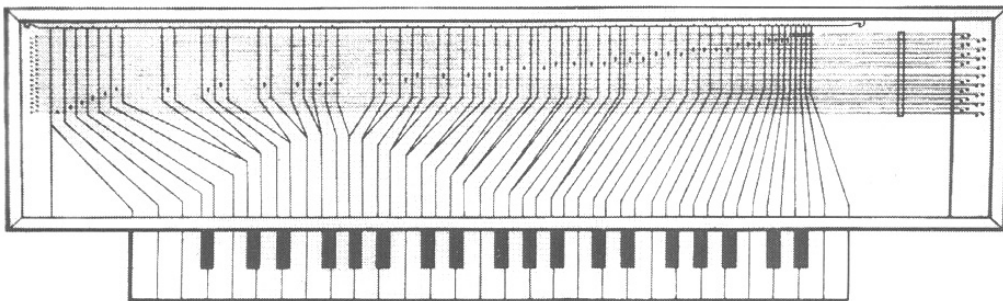
---

<sup>1</sup> Joissain renessanssiklavikordeissa on ollut kolmoiskielitys.



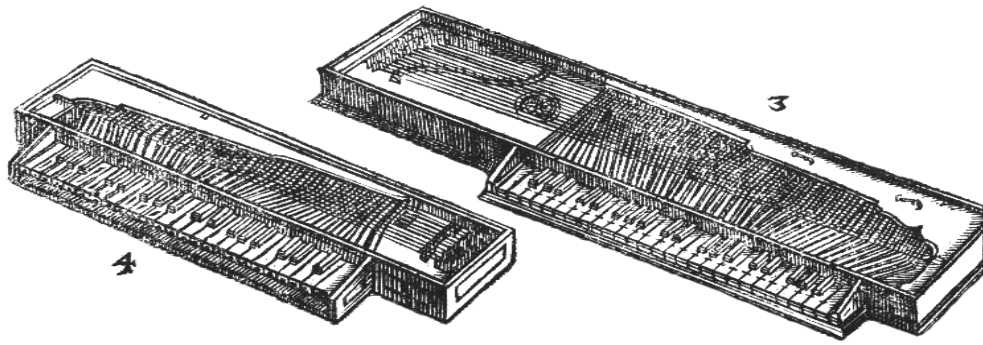
Kuva 2.1 Arnault de Zwollen Piiros klavikordista noin vuodelta 1440.

Vielä renessanssin aikaisessa klavikordissa kolme tai neljä vierekkäistä säveltä jakavat saman kieliparin. Säilyneet soittimet ovat varsin pieniä. Ilmeisesti soittimen siirrettävyyttä, edullisuutta ja sen viemää pientä tilaa arvostettiin enemmän kuin suurta sointia, eikä musiikki edelleenkään vaatinut sekunti-intervallien soittamista samaan aikaan. Tyypillinen ääniala on korkeintaan neljä oktaavia. Äänialan jatkaminen bassoa kohti pakotti luopumaan sidotuista äänistä, ja esim. kuvan 2.2 esittämässä Urbinon palatsin seinään 1400-luvun viimeisinä vuosina intarsiatekniikalla kuvatussa soittimessa on omat kieliparinsa viittä alinta ääntä kohden. Muuten rakenne on hyvin saman tyyppinen kuin Arnaultin klavikordissa. (Brauchli 1998, s. 28-36)



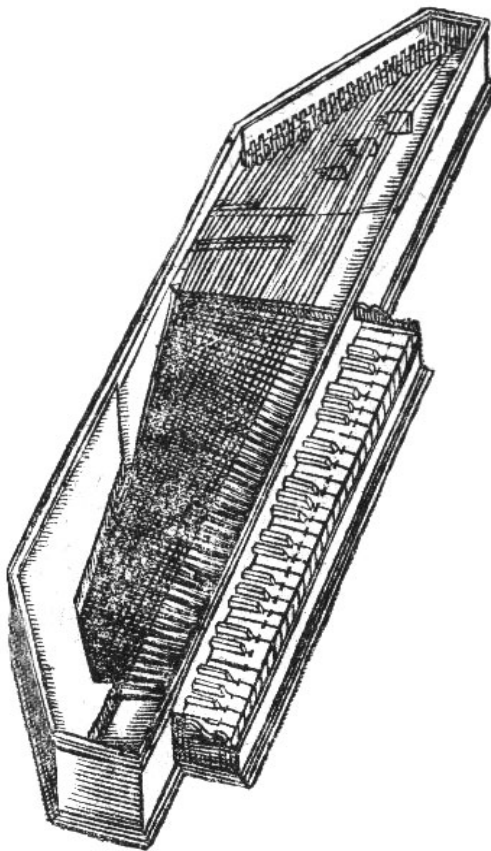
Kuva 2.2 Urbinon intarsiassa 1400-luvun lopussa kuvatun soittimen rakenne.

Ajan myötä soittimien keskimääräinen koko kasvoi ja sidottujen äänien määrä väheni. Ensimmäiset sitomattomat soittimet on todennäköisesti tehty 1600-luvun puolella, mutta ne eivät ole säilyneet. Täysrenessanssin aikana sidonta oli useimmiten vielä kolmin- ja nelinkertainen. Ääniala oli tyypillisesti C-c<sup>3</sup>, ilman alimman septimin kromaattikkaa. Soittimissa oli usein moniosainen kielisilta, ja kielten kontakti siihen saatiin aikaan kielen kulmalla alaspäin, kuten jousisoittimissa, eikä sivulle, kuten myöhemmissä soittimissa, joissa on kielipinnat ja kielissä kulma sivulle sillan kohdalla.



Kuva 2.3 Kaksi klavikordia Michael Praetoriuksen kirjasta *de Organographia*, 1619.

Kuvassa 2.3 esiintyvät kaksi soitinta edustavat vanhempaa ja uudempaa tyyliä. Numerolla kolme merkitty on kääntynyt kaivertajalla vahingossa peilikuvakseen. Soittimessa on jo uuden muodon mukainen yhtenäinen kaareva kielisilta ja Praetorius kirjoittaa sen olevan ”Gemein Clavichord”, eli yleinen tai normaali klavikordi. Numero neljä on oktaaviklavikordi, eli se on soinut normaalia tasoa korkeammalta. Kielisilta edustaa vielä vanhaa tyyliä. Molemmissa soittimissa on vaimenninpunosalueen päällä puulevy, jonka tarkoitus lienee ollut tasata kosketustuntumaa.



Kuva 2.4 Italialainen klavikordi, *ibidem*.

Kuvan 2.4 klavikordin Pretorius kertoo olevan tyyppiä ”Italianischer Mensur”. Soitin on huomattavasti kookkaampi kuin ”Gemein Clavichord” ja oletettavasti soinut matalammalta viritystasolta. Soittimessa on vielä moniin osiin jaettu kielisilta, ja sen runko on monikulmainen, mikä oli hyvin tyypillistä Italiassa myös virginaalien muotoilussa. Turhat nurkat on karsittu pois muodosta.

Moniosainen kielisilta tuottaa soittimen mensuuriin epäedullisia hyppäyksiä, mutta kaarevan tai vinon kielisillan käyttäminen ei tullut kyseeseen, koska kielipinnattoman sillan päällä kielet eivät olisi pysyneet paikoillaan. Kuvasta näkyy kielten tekemä kulma alaspäin sillalta kohti viritystappeja.

1600-luvulla klavikordi oli useimmiten kaksoissidottu siten, että d- ja a-äännet jäivät kokonaan vapaiksi. Toinen tärkeä muutos oli kielilinjan kääntäminen vinoon koskettimistoon nähden. Tällä saavutettiin hieman pidemmät kosketinvarret bassoon ja lyhyemmät diskanttiin. Tämä oli tarpeen, koska sidottujen äänien vähennyttä ja kielien määrän lisääntyttä soitin olisi ollut syvä ja sen kosketus bassossa ja diskantissa hyvin erilainen. (Brauchli 1998, s. 102.)

Barokin aikaanakin pitäydettiin enimmäkseen sidotuissa soittimissa, vaikkakin sitomatomat valtasivat pikku hiljaa alaa. Ilmeisesti sidotun soittimen edullisuus, pieni koko ja virityksen helppous olivat edelleen tärkeitä argumentteja. Myös kielien vähäisempi määrä sitomattomiin soittimiin verrattuna piti rungon kuormituksen kohtuullisena ja soittimet kestivät paremmin tai ne voitiin rakentaa kevyemmiksi ja paremmin resonoiviksi. Myös kosketinvarsien kohtuullisempi pituus teki kosketuksesta miellyttävämmän.

Saksan barokin kuuluisimman klavikordinrakentajan Christian Gottlob Hubertin kahdestakymmenestä säilyneestä soittimesta kuusitoista on sidottuja. Huomionarvoista on, että hänen myöhäisimmät ja hienostuneimmat soittimensa 1780-luvulta ovat nimenomaan sidottuja (Brauchli 1998, s.163), vaikka useimmat rakentajat olivat jo siirtyneet sitomattomiin malleihin ja pedagogit ja säveltäjätkin alkoivat niitä vaatia jo vuosikymmeniä aikaisemmin

Barokin kosketinsoittimista cembalo jäi hyvin nopeasti fortepianon varjoon 1700-luvun loppupuolella, mutta klavikordeja tehtiin ja soitettiin paljon vielä 1800-luvun alussa etenkin Saksassa ja Ruotsissa. Klavikordin dynaamiset mahdollisuudet tekivät siitä sopivan galanttiin ja wieniläisklassiseen musiikkiin ja se kuuluikin monen säveltäjän ja musiikin harrastajan kodin varustukseen vielä 1800-luvun alussa.

Rakenteen hienostuneisuudessa klavikordi saavutti huippunsa 1700-luvun puolivälissä – kokonsa, äänialansa ja volyyminsa puolesta kuitenkin vasta 1800-luvun alussa. Tällöin ääniala oli jopa kuusi oktaavia ja kaikupohja oli hyvin kookas. Sitomisesta oli luovuttu kokonaan. Kuitenkin jotain oli menetetty, ja myöhäisimmät klavikordit eivät ole mielestäni soittotuntumaltaan miellyttäviä ja niiden äänestä puuttuu hienostuneisuus.

## 2.2 Klavikordin asema soittimena ja sen estetiikka

Yksinkertaisen rakenteensa takia klavikordi on aina ollut edullinen muihin kosketinsoittimiin verrattuna. Hyvin rakennettu klavikordi myös pitää vireensä kiitettävästi, ja sidotut klavikordit ovat nopeita virittää, koska sidonta vähentää kielten määrää ja auttaa temperoinnin tekemisessä. Klavikordi on myös mahdollista tehdä soittimellisesti täysipainoiseksi varsin pieneen kokoon. Näistä syistä klavikordi on ollut hyvän harjoittelusoittimen maineessa. Vanhat lähteet mainitsevat myös hiljaisen äänen olevan etu, koska harjoittelu ei häiritse naapureita.

Varsinaisen idiomaattisen klavikordimusiikin kehitys ajoittuu vasta 1700-luvulle. Samalla alettiin pitää arvossa sen erityispiirteitä, eli dynamiikkaa ja mahdollisuutta vaikuttaa ääneen vielä sen syttymisen jälkeenkin. (vibraatto ja *Tragen der Töne*).

1500- ja 1600-luvuilla klavikordi oli vielä varsin yleisessä käytössä koko Euroopassa, mutta 1700-luvulla painopiste on selvästi Saksassa ja Ruotsissa. Ranskalaiset muusikot hylkäsivät klavikordin melkein kokonaan ja keskittyivät cembaloon.

Saksalaiset 1700-luvun pedagogit C. P. E. Bach etunenässä pitivät klavikordin hallintaa ensiarvoisen tärkeänä myös muitten kosketinsoittimien harrastajille. Klavikordi vaatii soittajaa paneutumaan kosketuksen nyansseihin ja tasaisuuteen aivan eri tavalla kuin cembalo tai urut, ja klavikordin hallitsevan soittajan katsottiin paremmin kykenevän kaivamaan esiin nyansseja myös esimerkiksi cembalosta.

Koska urkujen tarvitsema ilma piti polkea tuohon aikaan miesvoimalla, täytyi urkurien harjoitella muilla soittimilla. Klavikordi oli suosittu tässä tarkoituksessa. Ajalta on säilynyt muutamia liitejalkiolla varustettuja klavikordeja ja ainakin kaksi itsenäistäkin jalkioklavikordia, jotka ovat selkeästi olleet urkurien tarpeisiin tehtyjä.

Vaikka klavikordi onkin varsin hiljainen, ehkäpä hiljaisin kaikista akustisista soittimista, sillä pidettiin jonkin verran konsertteja pienelle yleisölle. On myös mainintoja ja maalauksia kamarimusiisointilanteista esimerkiksi huilun tai viulun kanssa, mutta ilmeinen ero äänenvoimakkuuksissa esti varsinaisen kamarimusiikkiohjelmiston synnyn.

### 2.2.1 Perinteisen klavikordin soinnin ja soitettavuuden erityispiirteitä

Klavikordi on ainoa perinteinen kosketinsoitin, jossa on suora yhteys koskettimesta kieleen. Kosketinvarren takapäähän kiinnitetty tangentti nousee kosketinta painettaessa kiinni kieleen ja muodostaa soivan pituuden toisen päätepisteen, toisen ollessa kielisilta.

Kosketinvarren liikettä ei ole rajoitettu mitenkään muuten. Koskettimen ollessa alaspainettuna tangentti nostaa kieltä hieman kolmiomaiseen muotoon ja lisää sen jännitystä. Jos sormen painoa tästä lisätään, niin kielen jännitys kasvaa edelleen ja vire nousee. Tämä mahdollistaa esimerkiksi vibraaton käytön. Toisaalta soittajalla pitää olla hyvä kontrolli sormien peruspainoon, tai muuten soitosta tulee epävireistä. Jos taas kosketin painetaan alas löysällä otteella, niin tangentti pompahtaa helposti heti osumahetken jälkeen hetkeksi irti kielestä ja ääni kuoleentuu. Tämä ilmiö on kiusallisen vaikea välttää suurissa ja raskaasti kielitetyissä soittimissa, kun taas säveltason epämääräisyydet ovat riesana pienissä ja kevyesti kielitetyissä soittimissa.

Koskettimen etureunan painuma ennen tangentin osumista kieleen on kolmesta neljään millimetriä eli varsin lyhyt. Pidempi painuma tekisi kontrolloidusti hiljaa soittamisen vaikeaksi, lyhyempi taas johtaa siihen, että voimakkaammat nyanssit ovat hankalia saavuttaa, kun koskettimen vauhti ei ehdi lyhyellä matkalla kiihtyä tarpeeksi.

Klavikordeissa on säännönmukaisesti kaksoiskielitys. Tämä vaikuttaa toisaalta kosketustuntumaan, toisaalta merkittävästi ääneen. Kaksi kieltä säveltä kohden tekevät äänestä rikkaamman ja vaikuttavat äänen muotoon. Hyvin viritetyssä klavikordissa kielipari lukittuu vaiheiltaan osin vastakkaisiksi pian äänen alun jälkeen ja energian siirtyminen kaikupohjaan hidastuu. (Katso luku 6.5.) Lukkiutuminen ei ole koskaan ihan täydellistä ja osasävelten keskinäiset vaiheet elävät äänen aikana saaden aikaan vaihtelevaa kumoutumista ja summautumista. Jos kosketinta painetaan äkisti hieman syvemmälle, niin tämä vaihelukittuminen purkautuu hetkeksi ja energian siirtyminen kaikupohjaan nopeutuu ja ääneen saadaan aksentti sen keskelle. Tästä tekniikasta käytettiin 1700-luvun lopussa Saksassa nimitystä Tragen der Töne (Brauchli, s.267-274). Tehokeino todella tuntuu antavan hyvin hiljaiselle äänelle hieman lisää kestoja tai pontta, vaikka todellisuudessa se nopeuttaa kielten värähtelyn vaimenemista. (Katso luku 6.7.1)

Kielten keskinäinen vire ja siten vaihe elävät myös tietysti vibraattoja käytettäessä. Tämä tekee äänestä varsin vivahteikkaan. Clavinet on yksöiskielitetty, eikä tarjoa samanlaista rikkautta. (Clavinetin mekaniikka estää muutenkin vibraaton käytön lähes kokonaan).

Klavikordin äänen poikkeuksellinen hiljaisuus johtuu lähinnä siitä, että tangentin isku tuottaa kieleen varsin pienen amplitudin. Kaikupohja on perinteisesti usein pieni, mikä osaltaan vaikuttaa äänenvoimakkuuteen. Ääni on myös kestoaltaan hieman lyhyempi kuin esimerkiksi kielitykseltään verrattain samankaltaisessa cembalossa. Suurin osa kielen energiasta siirtyy kaikupohjaan, mutta lisäksi toisena hävikkipisteenä on tangentti ja

kosketinvarsi. Koska tangenti on varsin ohut ja joustava ja se on kiinni kosketinvarressa, jonka tietysti täytyy olla liikkuva ja suhteellisen kevyt, kielen energiaa absorboituu myös tähän päähän. Lisäksi kielen värähtelyä siirtyy jonkin verran tangentin toiselle puolelle, jossa vaimenninhuopa taas absorboi sen. Vaimenninhuovan määrä vaikuttaa-kin sointiin usein havaittavasti. Kielisillan ja viritystappien väliin jäävät vaimentamattomat kielenpätkät tuottavat klavikordin sointiin kaikuisuutta ja ääntä rikastuttavia resonansseja.

Sidotuissa klavikordeissa huomioitavana seikkana on se, että kaikkia ääniä ei voi soittaa samaan aikaan viereisten äänten kanssa jonka seurauksena legatosoitto on rajoitettua. Jos esimerkiksi sävelestä fis<sup>1</sup> yrittää soittaa ylilegaton puoliaskelta alemmas, niin alemman sävelen tangenti kolahtaa ylemmän sävelen tangentin taakse aiheuttaen lähinnä ikävän sivuäänen. Sidokset mahdollistavat myös joitain erikoisefektejä, mutta niitä ei historiallisesti tiedetä käytetyn. Itse pidän niitä varsin käyttökelpoisina.

### **2.3 Sähköisten (kosketin)soitinten historiasta ja olemuksesta**

Sähköiset (kosketin)soittimet voi luokitella kolmeen pääryhmään. Ensimmäisen muodostavat perinteisten akustisten soittimien sähköisesti vahvistetut versiot. Näitä kutsutaan sähköakustisiksi soittimiksi. Toisen ryhmän muodostavat sähkömekaaniset soittimet. Niissä signaali tuotetaan jonkin sähkömekaanisen generaattorin tai värähtelijän avulla. Ryhmä on historiallisesti vanhin, koska generaattoreihin perustuva Teleharmonium (patentoitu 1989) voitiin rakentaa ennen vahvistinelektroniikan keksimistä. Tähän ryhmään kuuluvat myös Hammond-urut. Kolmas ryhmä on syntetisaattorit eli puhtaasti elektronisilla piireillä signaalin muodostavat soittimet. Varhaisia esimerkkejä ovat Theremin (1919) ja Ondes Martenot (1928), jonka kaiutinjärjestelmässä on tosin sähköakustisia piirteitä. (Rossing 1989, luku 26).

Perinteisten soittimien sähköistäminen johti monissa tapauksissa täysin uusiin sähkömekaanisiin konsepteihin (Rhodes), kun esikuvan akustinen toimintaperiaate muuttui radikaalisti. Toisaalta Hammond-urkujen sähkömekaanisen periaatteen oli alun perin tarkoitus tarjota huokea pilliurkujen korvaaja kirkkoihin.

Kitarat, bassot, viulut ja monet muut soittimet saivat kukin vuorollaan kokea enemmän tai vähemmän menestyksekkään vahvistusratkaisun. Myös historiallisista kosketinsoittimista tehtiin sähköisesti vahvistettuja versioita (Kottick 2003).

## 2.4 Sähköpianot

Pianon sähköistäminen ei niinkään johtunut sen äänivarojen riittämättömyydestä kuin kätevämmiin kuljetettavan ja lavalle mahtuvan soittimen tarpeesta. Jotkin versiot käyttivät perinteisiä kieliä (kuuluisin niistä oli Yamahan sähköflyygeli), mutta vaikutuksellisin soitin musiikillisesti oli Fender Rhodes<sup>2</sup>, jossa kielet on korvattu toisesta päästään kiinnitetyillä metallitangoilla, aivan kuten lelupianoissa oli jo pitkään tehty. Jokaiselle tangolle on oma magneettimikrofoninsa värähtelyn poimijana. Rhodesin sointi on toki jotain aivan muuta kuin flyygelin, mutta siitä pidettiin ja pidetään yhä. Se on selkeästi oma soittimensa ja vakiinnutti asemansa rock- ja jazz-musiikissa.

## 2.4 Sähköcembalot

Cembalosta tehtiin myös erilaisia sähköversioita. Esimerkiksi saksalainen moderneja cembaloita valmistanut Wittmayer vuonna tuotti vuonna 1970 mallin ”Bach Elektronik” modernien sinfoniaorkestereiden volyymitasoja silmälläpitäen (Kottick 2003, s. 255). Soittimessa oli magneettiset mikrofonit, sisäänrakennettu vahvistin ja kaiuttimet. Soitin oli n. 2,7 metriä pitkä, painava ja kallis.

Huomattavasti pienempi ja halvempi versio aiheesta oli Baldwin ”combo”, jota monet jazz- ja rock-yhtyeet käyttivät cembalosointia kaivatessaan (Ibid, s. 456.) Combossa oli myös magneettiset mikrofonit.

## 2.5 Hohner Clavinet

Useimmat saksalaisen Hohnerin sähkökosketinsoittimet ovat yhtiön suunnittelijan, muusikon ja keksijän, Ernst Zachariaksen käsialaa. Clavinetin toimintaperiaatteen esikuvana oli klavikordi, ja varhainen säilynyt prototyyppi on käytännössä sähköklavikordi, kuten kuvasta 2.5 on nähtävissä.

Teollisissa Clavineteissa, joista ensimmäiset julkistettiin 1965, Zacharias päätyi kuitenkin toisenlaiseen konstruktion kuin klavikordissaan. Ensinnäkin kielet kulkevat kosketimiston alla. Näin soittimesta tulee pienempi, ja mekaniikka yksinkertaistuu, kun kieltä

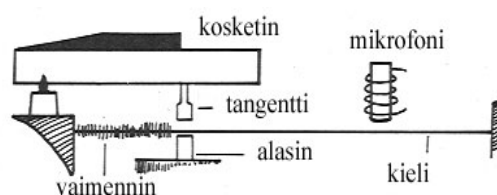
---

<sup>2</sup> Monia muitakin samoja periaatteita käyttäviä soittimia tehtiin, mutta niiden ominaisuudet eivät vastanneet Rhodesin laatua, eivätkä jakaneet sen suosioita.

lyövä tangentti on suoraan koskettimen alapinnassa. Kuvasta 2.6 näkyy, että toisin kuin klavikordissa, Clavinetissa on tangenttia vastassa alasin, joka rajoittaa koskettimen liikkeen ja käytännössä estää vibraation käytön. Clavinetin runko on metallia, joten se pitää vireensä hyvin. Viritystä varten on pienet ruuvit koskettimiston alapuolella etupaneelissa. Clavinetissa on vain yksinkertainen kielitys. Mikrofoniratkaisut olivat aina yksikeilaisia. Joissain malleissa oli kahdet mikrofonit, joista toinen oli lähellä tallaa ja tuotti kirkkaamman soinnin. Clavinetin sointi on erittäin selkeä, jopa hiukan synteettiselle viivahtava. Soittimesta tuli äärimmäisen suosittu varsinkin funk-musiikissa, ja lähes kaikille on tuttu Stevie Wonderin Superstitionin bassoriffi, joka luotiin soittamalla monta Clavinet-raitaa päällekkäin.



Kuva 2.5 Zachariuksen varhainen prototyyppi



Kuva 2.6 Clavinetin toimintaperiaate

## 2.6 Varhaisempia sähköklavikordikokeiluja

Aikaisempien sähköklavikordikokeilujen jäljittäminen tuskin onnistui yrityksistäni huolimatta kattavasti. Aihe on sen luontoinen, että uskon monienkin siihen tarttuneen, mutta harrastusmielessä ja omaksi ilokseen, jättämättä todisteaineistoa jälkeensä. Joissain artikkeleissa 60-luvulta (esimerkiksi Zappa 1968) mainitaan jonkun soittaneen sähköklavikordia, mutten ole pystynyt päättämään mistä on ollut kysymys. Onko sittenkin kyseessä ollut Clavinet?

Ivor Darreg kuvailee vuonna 1973 isokokoista mikrotonaalista sähköklavikordia, joka oli ollut hänen studiossaan jo pitkään. Darreg mainitsee saaneensa jo 1940-luvulta peräisin olevat suunnitteluvirheet korjatuksi. Soittimen koskettimisto käsitti kahdeksan oktaavia, mutta vire oli mikrotonaalinen. Soitin oli hyvin pitkä, koska Darreg halusi välttää punottujen bassokielten tuomat korkeat kustannukset ja epäonnistuneet kokeilut.

Ralph W. Burhans Ohion yliopistosta julkaisi kaksi klavikordin vahvistamista koskevaa artikkelia vuosina 1973 ja 1975. Ensimmäisen tutkimus, *Clavichord Amplification*, on

nimensä mukaisesti kuvaus klavikordin äänen vahvistamisesta. Burhans käytti kokeisiinsa valmista klavikordia, jossa oli monia historiallisista soittimista poikkeavia piirteitä<sup>3</sup>, kuten yksinkertainen kielitys, teräskielet, tiheään punotut bassokielet ja hyvin pieni etäisyys tangentista takapinnaan. Burhans ei ilmaise ymmärtäneensä kyseisten muutosten vaikutusta soittimen luonteeseen. Hän tuskin oli historiallista klavikordia koskaan kokeillutkaan, eikä näy tiedostaneen kaksoiskielityksen soinnillista merkitystä. Hänen pohjatietonsa klavikordin akustiikasta vaikuttavat olleen kaiken kaikkiaan hyvin heikot.

Hän käytti mikrofonina sauvamaista pietsoasetelmaa, joka kiinnitetään molemmista päistään kaikupohjaan. Päiden välissä oleva pietsomateriaali rekisteröi niiden väliset liikkeet. Samaa periaatetta käytetään nykyisin ainakin kontrabassojen tallamikrofoneissa. Burhans toteaa sijoituksen tallan alle tuottavan liikaa koskettimiston ja tangentin häiriöääniä ja päätyy kiinnittämään elementin hieman sivuun tallasta pehmeällä liimakerroksella, joka vielä vähentää häiriöäänien määrää.<sup>4</sup>

Hän kirjoittaa rakenteen mahdollistavan n. 85 dB:n äänenpaineen ennen akustisen kierron syntymistä. Äänenlaadun hän kirjoittaa vastaavan hyvin akustisen klavikordin ääntä.

Burhans mainitsee myös kokeilleensa magneettista mikrofonia ja kertoo sillä saavutettavan paremman signaali-häiriö –suhteen. Hän pohtii myös kaikupohjattoman klavikordin mahdollisuutta:

A solid body clavichord with magnetic pick-ups would not have the resonance limitations or feed back problem of the acoustic model and would allow more freedom for shaping the external resonant timbre properties by Mathews' electronic synthesis methods. (Burhans 1973, s. 463)

Julkaisun lukijoilta tuli Burhansille paljon palautetta. Toiset mainitsivat, että hänen ehdottamansa kaikupohjaton, magneettimikrofoneilla varustettu versio on itse asiassa hyvin lähellä Clavinettia. Toiset taas haukkuvat koko ajatuksen klavikordin vahvistamisesta perverssiksi, koska klavikordille on luonteenomaista hiljaisuus ja intiimiys

---

<sup>3</sup> Vielä 1970-luvullakaan vanhojen kosketinsoittimien rakenteiden ymmärtäminen ja arvostus eivät olleet kovin kehittyneitä. Monia perinteisiä ratkaisuja modernisoitiin ymmärtämättä, että samalla tuhottiin jotain olennaista soittimen ominaisuuksista. Vasta seuraavalla vuosikymmenellä ajatus modernisoinnista hylättiin kokonaan ja huomattiin alkuperäissoittimien rakenteellinen hioutuneisuus ja ymmärrettiin paremmin niiden akustiset ominaisuudet.

<sup>4</sup> Ja varmasti myös tummentaa sointia merkittävästi.

Vuoden 1975 artikkelissaan *Audio Engineering Improvements for Clavichords* Burhans keskittyi lähinnä magneettisesti poimitun signaalin modifiointiin M. V. Mathewsin menetelmää käyttäen. Koska magneettimikrofonin poimima signaali ei enää muistuttanut klavikordin akustista sointia, niin sähköisellä resonanssisuodinratkaisulla Burhans pyrki korvaamaan kaikupohjan tuoman värin. Hän väittää tuloksen muistuttavan akustisen klavikordin sointia.<sup>5</sup>

Artikkelissaan *The Case for and Against the Electric Clavichord* vuodelta 1997 Lyndon Johan Taylor kertoo omista kokeiluistaan klavikordin vahvistamiseksi. Taylor toteaa akustisen äänen vahvistamisen olevan ongelmallista kiertoherkkyyden takia. Taylor on sekä muusikko että perinteisten klavikordien rakentaja. Kyseisessä artikkelissa Taylor kertoo, kuinka hän päätti muuttaa akustisena soittimena epäonnistuneen klavikordin sähköiseksi. Hän korvasi kaikupohjan umpipuulla ja asensi kielten *päälle* kolme kappaletta rakentamiaan humbucker-mikrofoneja. Hän toteaa yksikelaisten mikrofonien käyttämisen ongelmalliseksi hurinan takia. Koska soitin oli ollut tavallinen messinkikielinen klavikordi, niin rautakielitykseen siirryttäessä viritystasoa piti nostaa.

Taylor pohtii sähköklavikordin käyttömahdollisuuksia ja estetiikkaa. Hän ei pidä sitä sopivana vanhan musiikin esittämiseen, mutta toteaa sen olevan omiaan modernin musiikin yhtyeissä. Hän kehuu sen selkeää ja pitkäkestoista ääntä, vibraation mahdollisuutta, sekä syntetisaattoreihin verrattuna ilmeikkämpää sointia. Hän myös toteaa soittimen olevan ääneltään melko lähellä sähkökitaraa.

Kukaan mainituista sähköklavikordin tekijöistä tai keksijöistä ei ilmaise olleensa tietoinen varhaisemmista kokeiluista. Siksi epäilen, että suuri osa varhaisista tai nykyisistä kokeiluista ei ole vielä minunkaan tiedossani. Edellä mainittujen henkilöiden lisäksi olen kuullut, että ainakin joku ranskalainen rakentaja tekisi sähköklavikordeja, mutta en ole pystynyt jäljittämään huhun kohdetta. Myös Tapio Manninen Virroilta on tehnyt sähköklavikordin, mutten ehtinyt saada asiasta ajoissa vihiä ottaakseni asiasta tarkemmin selvää.

---

<sup>5</sup> On tietenkin epäreilua arvioida ratkaisun onnistuneisuutta kuulematta lopputulosta, mutta uskallan epäillä nykynäkökulmasta perin primitiivisen kaikupohjankorvikkeen erinomaisuutta. Digitaalisen signaalinkäsittelyn aikakausi on tietenkin muuttanut melkoisesti kyseisten ongelmien ratkaisumahdollisuuksia.

## 3 Suunnittelun lähtökohdat

### 3.1 Havainnot ennen suunnittelua

Ensimmäinen kaksioктаavinen kokeilusoittimeni osoitti selkeästi seuraavat asiat:

- 1) Sähköklavikordi magneettimikrofoneilla varustettuna on kehityskelpoinen konsepti.
- 2) Kokonaan ilman kaikupohjaa toteutettu lankkumallinen soitin jää ääneltään melko persoonattomaksi, tylsäksi.
- 3) Perinteiset messinkiset tangentit kuluvat liian nopeasti kuopille rautakieliä käytettäessä.

### 3.2 Ääniala

Kaksioктаavinen prototyyppi oli toimiva kapistus esimerkiksi soololinjojen soittamiseen, mutta seuraavan version oli oltava täysikokoinen, ainakin varhaisbarokin mittapuilla. Tämä tarkoitti basson ulottamista C:hen ja diskantin vähintään  $c^3$ :een. Mikään ei olisi estänyt basson laajentamista alemmaksikin, mutta halusin pitää soittimen kompaktina ja kevyenä. Diskantissa akustisen klavikordin äänialan rajoittaminen kolmiviivaiseen c:hen olisi ollut tarpeetonta, mutta sähköklavikordin mikrofonien vaatima tila pakotti rajoittamaan klaviatuurin kyseiseen säveleen. Mitoitukset äärimmilleen optimoimalla  $d^3$  olisi ehkä ollut vielä mahdollinen. Näin siis päädyin selkeään nelioктаaviseen äänialaan C- $c^3$ .

### 3.3 Sidotut äänet

Klavikordeja on perinteisesti ollut kahta päätyyppiä, sidottuja ja sitomattomia. Sitomattomassa klavikordissa on jokaista ääntä varten oma kieliparinsa. Sidotussa klavikordissa sen sijaan hyödynnetään sitä mahdollisuutta, että vierekkäiset koskettimet voivat lyödä tangenteillaan *samaan* kielipariin. Tangenttien etäisyyden toisistaan pitkin kielilinjaa täytyy vastata tarkalleen haluttua puoliaskelen kokoa. Tästä seuraa, että sidottuja kielipareja ei voi olla bassoon asti, koska koskettimisto muotoutuisi huonosti toteutettavaksi ja toimivaksi puoliaskelten vaatiman tangenttien etäisyyden takia.

Sidonnasta on sekä haittaa että hyötyä. Etuna on se, että kielten määrä vähenee, virittäminen yksinkertaistuu, ja soitin pienenee. Haittana on, että sidottuja säveliä ei voi soittaa yhtä aikaa. Myös siirtyminen sidotusta sävelestä toiseen tulee tehdä huolella, jottei tuota tahtomattaan ikäviä sivuääniä. Historiallisesti klavikordin sidonnat vähenivät ja sidotut klavikordit harvinaistuivat sitä mukaa kun kromatiikka ja paljon etumerkkejä sisältävät sävellajit yleistyivät. Barokin aikaan tyypillisessä sidotussa klavikordissa samaa kieliparia olivat jakamassa c ja cis, es ja e, f ja fis, g ja gis sekä b ja h, ja sidonta kattoi soittimen pienen oktaavin c:stä tai f:stä alkaen. A- ja d- koskettimet soivat siis oman kieliparinsa.

Päätin tehdä soittimesta sidotun, koska sidotuilla äänillä voi tehdä joitain hauskoja erikoisefektejä, ja halusin pitää soittimen niin pienenä kuin mahdollista. Rautakielityksen vaatimasta pitkästä mensuurista johtuen en vienyt sidontaa kuitenkaan keski-c:tä alemmas. Sidonta b-h olisi ollut vielä mahdollista toteuttaa, mutta halusin pitää kosketinvarret mahdollisimman suorina, ja sidonnan alkaminen keski-c:stä on mielestäni loogisempaa. Sama rajakohta pätee myös mikrofoneihin, kuten myöhemmin selviää.

### **3.2 Mensurointi ja kielityksen suunnittelu**

Klavikordien historiallisesti yleisin kielitysmateriaali oli messinki. Sen akustiset ominaisuudet ja saavutettu äänenlaatu vastasivat barokin ajan soittajien vaatimuksia. Koska sähköklavikordissa on magneettimikrofonit, niin messinki ei tule kielimateriaalina kyseeseen, sillä se ei ole ferromagneettista. Vain rauta ja teräs ovat käyviä materiaaleja. Moderni ratkaisu olisi ollut teräskielitys, mutta koska itselleni on historiallisten kosketinsoitinten rakentajana rauta (itse asiassa matalahiiliteräs) tullut tutuksi, päädyin siihen. Se on terästä pehmeämpi materiaali ja soi ainakin cembaloissa terästä miellyttävämmin suuremman sisäisen vaimennuksensa ansiosta, joka tekee soinnista pehmeämmän. Ajattelin olevan myös hyödyksi, ettei liian kova kielimateriaali kuluta ruostumattomasta teräksestä tehtyjen tangenttien päitä heti lommoille.

Lähes kaikissa kielisoittimissa on keskeisimpänä kielityksen ongelmana kielen epäharmonisuuden ja joustavuuden hallinta suhteessa haluttuun jännitykseen. Yleensä soitimen ylimmät kielet on viritetty lähelle katkeamispistettään, ja ne soivat sen seurauksena puhtaasti. Jos samaa kielimateriaalia kuitenkin käytetään koko soittimessa, ja soitimen pituus pidetään järkevänä, niin matalimmat kielet jäävät liian kauaksi katkeamispis-

teestään soidakseen hyväksyttävästi. Pythagoralaisen mensuurin toteuttaminen sähköklavikordissa olisi sen sijaan tuottanut 2,4 m pitkän C-kielen.

Mensuroinnin lyheneminen bassoa kohti vaatii kompensointia kielityksessä. Ensimmäinen keino on pehmeämmän tai ominaispainoltaan suuremman materiaalin käyttäminen bassoalueella. Toinen on punottujen kielten käyttö. Punotussa kielessä ydinlanka on ohut ja vahva, ja punos vuorostaan on mahdollisimman joustavaa materiaalia. Tarkoituksena on kasvattaa kielen massaa ilman sen jäykkyyden lisääntymistä. Kumpikin menetelmä on ollut historiallisesti käytössä. Esimerkiksi cembaloissa voidaan käyttää diskantissa rautaa, tenorissa keltaista ja bassossa punaista messinkiä. Klavikordeissa on käytetty myös samaa menetelmää, mutta koska ne ovat suhteessa matalimpaan tuottaansa ääneen yleensä lyhyempiä kuin cembalot, yleistyi niissä 1700-luvulla punottujen bassokielten käyttö.

Soittimissa, joissa käytetään sekä sileitä että punomattomia kieliä yleisenä ongelmana on, että äänenlaatu kärsii siinä kohdassa äänialaa, jossa vaihdos tapahtuu. Jos kielisilta on yhtä kappaletta, niin alimmat sileät kielet jäävät auttamatta kauaksi katkeamispisteestään ja soivat hieman epäpuhtaasti ja tunkkaisesti. Pianoissa ongelma ratkaistiin jo varhain siirtymällä kaksiosaiseen kielisillan. Alimmat sileät kielet saatiin näin selvästi ylimpiä punottuja pidemmiksi ja lähemmäs ideaalia pituuttaan.

Klavikordeissa näin ei kuitenkaan koskaan tehty. Tämä lienee johtunut siitä, että kielijännitteet ovat pianoon verrattuna hyvin alhaiset ja strategiaksi kelpaa hyvin yhtenäinen kielisilta ja useampiportainen siirtymä kovemmissa pehmeämpiin kielimateriaaleihin ja lopulta punottuihin kieliin. Sähköklavikordissa sama metodi ei toimi yhtä hyvin, koska kaikkien kielten tulee olla ferromagneettisia, ja tämän takia pehmeät messingit eivät tule kyseeseen. Tästä syystä päätin tehdä sähköklavikordiin kaksiosaisen kielisillan. Alimmalla alueella C-cis käytin punottuja kieliä, ja toiselle kielisillalle tulivat sileät kielet tästä ylöspäin.

Taulukossa 3.1 on esitellään punottujen kielten mitat. Koska kielten mensuuri lyhenee bassoa kohti, on se kompensoitava paksummalla kielityksellä, jos jännitteen halutaan pysyvän samana. Viidennessä sarakkeessa oleva luku kertoo, miten paksu sileän kielen tulisi olla, jotta sillä saavutettaisiin haluttu jännite. Sydänlankana on rautaa, joka on melko lähellä katkeamispistettä. Tarvittava massa haetaan sitten sopivalla kuparipunosella.

Punottujen kielten rakenne poikkeaa hieman moderneista vastaavista siinä, että punoslangan kierrokset eivät tule vieri viereen, vaan väliin jää pieni rako. Tämän tarkoituksena on maksimoida kielen joustavuus. Ratkaisu oli standardi myös historiallisissa klavikordeissa. Sydänlankana sähköklavikordin kielissä on rautaa ja punokseen käytetään puhdasta kuparia. Punoslangan paksuudella ja punontakulmalla vaikutetaan kielen massaan. Ylimmissä punotuissa kielissä punoslanka on ohuempaa ja punos harvempaa kuin alemmissa punotuissa.

Taulukko 3.1 *Punottujen kielten mitat ja suuret.*

ääni	pituus mm	mensuuri ref c'' mm	jännite kp	vast.sileä	sydän mm	punos mm	kulma °
C	1000	125	6	0,749	0,4	0,3	75
Cis	980						
D	960		6	0,647	0,4	0,25	70
Es	940						
E	919						
F	899		6	0,583	0,4	0,25	65
Fis	878						
G	858						
Gis	837		6	0,528	0,36	0,25	60
A	817						
B	797						
H	777		6	0,48	0,36	0,25	50
c	756						
cis	736	195					

Taulukossa 3.2 on esitetty sileiden kielten mitat ja suuret. Diskantin kielten pituudet on suunniteltu ottaen huomioon soittimella tehtävät rajut äänen venytykset, eli mensuroinnissa on turvamarginaalia vähintään puolisävelaskelen verran enemmän kuin vastaavassa cembalon mensuroinnissa olisi.

Klavikordin kielityksen suunnittelu on melkoinen haaste, koska soinnillisten ominaisuuksien lisäksi pitää ottaa huomioon myös kosketustuntuma, joka sekin on monitahoinen ilmiö. Ensinnäkin hyvin tiukka kielitys aiheuttaa helposti tangentin ponnahtamisen irti kielestä heti alukkeen jälkeen, jos sormen paineen hallinta ei ole optimaalista. Tällöin ääni kuolee saman tien. Ääniä ei voi samalla tavalla räiskiä tulemaan kuin esimerkiksi pianossa ja cembalossa, vaan jokainen ääni vaatii tarkkaa tekniikan hallintaa. Toiseksi kielten jännitys ja koskettimiston geometria vaikuttavat siihen, että minkä suuruisen sävelkorkeuden muutoksen tietty koskettimeen kohdistettu voima

aiheuttaa. Pysin siihen, että kielitys, koskettimiston geometria ja kielten vaimenusalueen pituus yhdessä loisivat mahdollisimman tasaisen kosketustuntuman ja dynamiikan koko soittimeen.

Taulukko 3.2 *Sileiden kielten mitat ja suureet.*

ääni	pituus mm	mensuuri ref c'' mm	jännite kp	kielipaksuus mm
d	812	228	5,7	0,4
es				÷
e				0,36
f	735	245	5,3	÷
fis				÷
g	685	257		÷
gis				0,33
a	637	268	5,3	÷
b				÷
h				÷
c'-cis'	552	276	5,7	÷
d'				0,3
es'-e'				÷
f'-fis'	437	292	5,2	÷
g'-gis'				÷
a'				0,27
b'-h'				÷
c''-cis''	307	307	4,7	÷
d''				÷
es''-e''				0,25
f''-fis''	235	313	4,2	÷
g''-a''				÷
b''-c'''	160	320	4,4	÷

Raskaasti kielitetyllä klavikordilla soittaessa saa olla koko ajan varuillaan huonojen alukkeiden varalta, mutta toisaalta se kestää vähän rajumpaaakin käsittelyä ilman holtittomia sävelkorkeiden vaihteluita. Ohut kielitys on sallivampi alukekontrollin suhteen, mutta voimakkaampia sävyjä hakiessa voi olla vaikea välttää alukkeiden jälkeistä hetkellistä sävelkorkeuden nousua ja laskua.

Puhtaasti akustisia kielitysongelmia ovat ainakin seuraavat asiat:

- 1) Kielen epäharmonisuuden määrän hallinta
- 2) Kielen impedanssin hallinta suhteessa kaikupohjan ja tangentin impedansseihin
- 3) Sammutinhuovan tehokkuuden suhteutuminen kielitykseen

Inharmonisuutta hallitaan siis käyttämällä punottuja kieliä. Impedanssien hallinta on haasteellisempaa ja optimiratkaisun löytäminen vaatisi useiden kokeilusoitinten valmistamista ja hyvää teoreettisen akustiikan hallintaa. Ensimmäistä soitinta tehdessäni en voinut olla edes varma esteettisistä tavoitteistani, koska soitin oli konseptina minulle aiemmin tuntematon. Joka tapauksessa paksumpi ja kireämpi kieli siirtää energiansa nopeammin terminointipisteisiinsä. Klavikordissa kumpikaan soivan pituuden määrittävä pää ei ole kiinteä, vaan niissä on tietty määrä sidottua massaa ja joustavuutta, eli akustiikan kielellä ilmaistuna induktiivista ja kapasitiivista reaktanssia. Osa kielen energiasta siirtyy väistämättä tangenttiin ja kosketinvarteen, vaikka tämä ei ole toivottavaa. Ilmiötä voi heikentää kielitystä keventämällä ja tekemällä tangentista jäykemmän ja kosketinvarresta painavamman. Kosketinvarren massan liiallinen lisäys ei ole toivottavaa, koska se heikentää hiljaisten nyanssien hallintaa. Tangentin jäykkyyden lisääminen on sen sijaan kannattavaa, mutta valmistustekniset ratkaisut valitettavasti rajoittivat materiaaliksi ohuen teräslevyn (punottujen kielten osalta messinkilevyn). Energian siirtyminen kielestä tangenttiin ja kosketinvarteen on omien kokeitteni perusteella merkittävää. Kielen energia voi tietysti siirtyä suorana säteilynä ilmaan ja kielen sisäisiin häviöihin, mutta näiden mekanismien merkitys on hyvin pieni (Thwaites & Fletcher 1981, s. 1479).

Suurin osa kielen energiasta siirtyy klavikordeissa kielisillan ja kaikupohjan muodostamaan kokonaisuuteen. Tämä on helppo todeta laittamalla raskas paino kielipinnojen päälle. Koska sähköklavikordini olemus on puoliakustinen, on kaikupohja melko pieni ja jäykkä. Siitä huolimatta sen vaikutus äänen pituuteen on kaikista osatekijöistä suurin.

Tämän kirjoitelman aiheena olevassa soittimessa päädyin melko raskaaseen kielitykseen. Sen seuraukset ovat pääteltävissä edellä selvitetyistä seikoista.

- 1) Kosketus vaatii tarkan kontrollin kuolleiden alukkeiden välttämiseksi.
- 2) Soitin antaa anteeksi pienet kosketuspaineen heilahtelut ja vaatii reilusti painetta vibraaton tuottamiseksi.
- 3) Ääni ei ole varsinkaan diskantissa kovin pitkäsointinen.

### 3.4 Äänenpoimintatekniikoista

Erilaisia perusratkaisuja fyysisen soittimen äänen poimimiseksi ovat ainakin seuraavat:

- 1) Ilmamikrofoni, esimerkiksi tavallinen kondensaattorimikrofoni
- 2) Kontaktimikrofoni, esimerkiksi pietsosähköinen mikrofoni
- 3) Magneettinen mikrofoni

Kondensaattorimikrofoneilla on parhaat mahdollisuudet saada talteen akustisen soittimen luontainen sointiväri. Ratkaisu on käytössä soittimiin asennettuna ainakin monissa akustisissa kitaroissa ja kontrabassoissa. Klavikordi on kuitenkin niin hiljainen soitin, että akustisen mikrofonin käyttö johtaa väistämättä akustisen kierron syntymiseen jomelko alhaisilla tavoitevoimakkuuksilla.

Kontaktimikrofonit ovat vähemmän herkkiä akustiselle kierrolle, koska ne rekisteröivät suoraan kielisillan tai kaikupohjan muodonmuutoksia tai painetta. Pietsomikrofoneja vaivaavat kuitenkin usein ikävät resonanssit diskanttialueella, mikä tuottaa kipakasti värittynen soinnin. Kontaktimikrofoneissa on tapahtunut kuitenkin kehitystä, ja sähköisesti varattuihin polymeereihin perustuvat kalvokontaktimikrofonit ovat soinniltaan jo varsin hyviä. Suomalainen B-band valmistaa kyseisiä tuotteita. Minulla ei periaatteessa ollut mitään muuta hyvää syytä jättää B-bandin tuotteita toistaiseksi kokeilematta kuin niiden korkeahko hinta. Epäilin myös, että hyvin pienikokoisen kaikupohjan värähtelyt eivät olisi tuottaneet riittävän tasaista keskialueistoista, bassoista puhumattakaan, koska kaikupohjaan sijoitettu kontaktimikrofoni rekisteröi vain ne taajuudet, joilla kaikupohjassa esiintyy liikettä. Näin ollen kallis kontaktimikrofoniratkaisu olisi todennäköisesti tuottanut varsin epätydyttävän soinnin.

Pietsosähköisiin materiaaleihin perustuu myös pyöreä kaapeli, jota käytetään monissa sovelluksissa murtohälyttimistä liikenteentunnistimiin. Tällaisella kaapelilla kehutaan saavutetun erinomaisia tuloksia akustisen kitaran mikittämisessä. Kaapelissa ei ole tyyppillisiä kiekonmuotoisia pietsomikrofoneja vaivaavia diskanttialueen resonansseja. Tuote vaikutti lupaavalta, ja päätin upottaa kielisiltoihin kyseistä kaapelia.

Kolmas vaihtoehto on magneettinen mikrofoni, joka rekisteröi suoraan kielen liikkeitä. Kielimateriaalin tulee olla ferromagneettista, jotta se voi moduloida mikrofonin kesto-magneettien kenttää ja indusoida magneetteja kiertävään kelaan signaalijännitteen. Pidän alusta alkaen magneettimikrofonia ensisijaisena ratkaisuna. Sen hyvinä puolina on al-

hainen kiertoherkkyys, immuunius koneiston (koskettimiston) häiriöille ja mahdollisuus tehdä itse erilaisia mikrofonimalleja soinnin muokkaamiseksi. Huonoina puolina on soinnin tietty luonteettomuus ja ulkopuolisten sähkömagneettisten häiriökenttien vaikutus<sup>6</sup> ja niiden torjumisen hankaluus.<sup>7</sup>

Kaikissa ratkaisuissa keskeisenä ongelmana on klavikordin kielten värähtelyn perin vaatimaton amplitudi. Tämä vaikeuttaa järkevän signaali-häiriö-suhteen aikaansaamista.

### 3.5 Kieli- ja mikrofoniryhmät

Kaksioktaavinen kokeilusoittimeni sisälsi vain yhden magneettimikrofonin. Kaikkien kielten mikittäminen neljän oktaavin alueelta olisi vaatinut varsin pitkän mikrofonin. Sen rakentaminen olisi ollut hankalaa ja sen sähköiset ominaisuudet epäsuotuisat. Tähän teemaan palataan luvussa 3.9. Usean mikrofonin käyttäminen on hyödyllistä myös muista syistä. Koska mikrofonit poimivat kukin vain tietyn osan äänialasta, niin niille voi tehdä myös omat vahvistimensa ja ulostulonsa. Näin sain aikaan soittimen, josta saa niin halutessaan basso- ja diskanttiulostuloja eri lailla efektoimalla luotua niille aivan omat sointinsa. Voin myös halutessani sekoittaa kaikkien mikrofonien signaalit yhteen sopivissa suhteissa tilanteesta riippuen. Lisäksi saatoin optimoida jokaisen mikrofonin rakenteen ja sijainnin sen poimiman äänialan mukaan.

Päädyin kolmeen mikrofoniin ja kolmeen kieliryhmään. Halusin koskettimiston jakopisteeksi h:n ja c<sup>1</sup>:n välin, koska tämä tuntui minusta luontevalta, ja olin siihen jo tiettyjä barokkiurkuja soittaessa tottunut.<sup>8</sup> Tämä määräsi yhden rajakohdan kieliryhmissä. Tuntui loogiselta, että samassa kohdassa on sidotun ja sitomattoman alueen raja. Toinen

---

<sup>6</sup> Erilaiset sähkölaitteet, esimerkiksi muuntajat ja loisteputkivalaisimet ovat tyypillisiä häiriökenttien lähteitä. Joissain tilanteissa häiriöistä selviää vain hiukan soitinta kääntelemällä, koska kenttä indusoituu mikrofoniin vain kulkiessaan kelan akselin suuntaisena.

<sup>7</sup> Magneettihäiriökentät voidaan eristää materiaaleilla, joilla on suuri permeabiliteetti. Riittävän paksuna rautapeltikin toimii. Ongelmana vain on yleensä se, että mikrofoneja ei mitenkään pysty sulkemaan kaikissa kolmessa ulottuvuudessa suojattuun tilaan, koska jostain kieltenkin pitää kulkea. Sähkökitaroissa vielä pahempi este on se, että kieliin pitää soitettaessa päästä käsiksi juuri niiltä kohdin, joissa mikrofonit sijaitsevat.

<sup>8</sup> Monissa etenkin continuo-soittoon tarkoitetuissa pienissä uruissa on äänikerroille erilliset rekisteröintimekanismit bassolle ja diskantille.

rajakohta oli järkevää sijoittaa sileiden ja punottujen kielten väliin, koska siinä on väistämättä soinnillisia muutoksia, ja erilliset mikrofonit voisivat sopivasti suunniteltuina auttaa häivyttämään mahdollisia ongelmia. Koska halusin soittimen ulkomittojen pysyvän pieninä, piti punottuja kieliä käyttää ainakin alimmassa oktaavissa. Päädyin lopulta sijoittamaan rajakohdan cis- ja d-äänten väliin, mutta se olisi aivan hyvin voinut olla myös c- ja cis-äänien välissä.

Jotta mikrofonit poimisivat vain niitä ääniä, joita niiden pitääkin, eivätkä viereisten ryhmien kieliä, on kieliryhmien välillä 7,5 mm vapaata tilaa.

### **3.6 Akustiikkaa kiitos!**

Kokeilusoittimen perusteella olin havainnut, että magneettinen mikrofoni voisi toimia parhaiten, mutta soinnin elottomuus ja yksitotisuus eivät miellyttäneet minua. Aloin ottaa vaikutteita suunnitteluun kitaramaailmasta. Hylkäsin kaikupohjattoman lankkumallin ja pohdin erilaisia puoliakustisia ratkaisuja. Kitarapuolella ratkaisuja on pari onteloa sisältävästä, käytännössä kaikupohjattomasta mallista jazz-muusikoiden suosiimiin puoliakustisiin, joissa on sen verran kookas ja pieni-impedanssinen kansi, että sen vaikutus sointiin on huomattava. Mitä enemmän soittimessa on akustista vastetta, sitä kiertoherkempi se on, mutta myös magneettimikrofonien poimimana ääni on sävykkäämpi kuin lankkumalleissa. Soittimen kopan resonanssit muokkaavat äänten osasävelten vaimenemisaikoja ja sallivat kielten vuorovaikutuksen toisiinsa tallan kautta. Tämä rikastuttaa sointia, koska mikään ääni ei ole vain erillinen tapahtumansa, vaan kaikki samaan aikaan soivat kielet vaikuttavat toisiinsa tallan kautta ja vaihtavat energiaa keskenään monimutkaisin tavoin.

Päätin tehdä kaikupohjasta melko pienen ja jäykän, jotta soittimesta ei tulisi tarpeettoman kiertoherkkää ja soinnista lyhyttä. Perinteisissä klavikordeissa joudutaan tasapainoilemaan äänenvoimakkuuden ja soinnin keston välillä, mutta minulla ei ollut tätä ongelmaa pohdittavanani. Pieni kaikukoppa mahdollisti myös hyvät tilat mikrofoneille ja auttoi pitämään soittimen pienehkönä.

### **3.7 Soittimen muodon synty**

Perinteiset klavikordit ovat tyypillisesti suorakulmaisia, kannellisia laatikoita. Soitettaessa kansi avataan taaksepäin, jolloin koskettimisto, kaikupohja ja koko mekaniikka

paljastuvat. Muoto ja funktio ovat melko hyvässä tasapainossa, eikä hukkatilaa jää laatikon sisään paljoakaan. Ajattelin kuitenkin viedä funktionaalisen muotoajattelun hieman pidemmälle ja antaa soittimelle samalla akustisista klavikordeista selvästi erottuvan ulkonäön. Poistin kuolleet nurkat ja saatoin kielten diagonaalisen linjan sopuun muiden muotojen kanssa. Päätin myös kokonaan luopua rakenteesta, jossa on reunat ja kansi. Tämä ratkaisu keventää niin ulkonäköä kuin soittimen massaakin, mutta toisaalta tekee soittimesta suojattomamman. Kuljetuksia varten tarvitaan siis erillinen laatikko, kun perinteinen klavikordi suojaa itse itsensä ja vaatii vain kolhuilta suojaavan pussin.

Jotta minulla olisi jokin referenssi suunnittelun apuna, lainasin Arno Pelloilta piirustukset Pekka Vapaavuoren edelleenkehittelemästä Wählström-klavikordista. Piirustuksen tukena oli vielä Vapaavuoren väitöskirja (Vapaavuori 2001), jossa käydään läpi monia keskeisiä sointiin ja soitettavuuteen liittyviä parametreja. En nähnyt mitään tarvetta puuttua klavikordin keskeisiin toimintaperiaatteisiin, koska ne ovat historian kuluessa hioutuneet huippuunsa. Joissain ratkaisuissa soittimen sähköistäminen tosin pakotti selvästi akustisista esikuvistaan poikkeaviin ratkaisuihin. (Eryisesti katso luku 3.2 kielityksestä)

Laadin piirustusta ensin paperille, täydessä mittakaavassa, ja ahkerasti pyyhekumia käyttäen, seuraavia seikkoja toisiinsa sovitellen:

- 1) Koskettimiston oktaavijako
- 2) Ääniala
- 3) Mensurointi
- 4) Sidonnat ja niiden vaatima kosketinvarsien muotoilu
- 5) Kielisiltojen muotoilu
- 6) Kielten etäisyys toisiinsa sivusuunnassa
- 7) Mikrofonien vaatima tila
- 8) Kaikukopan koko
- 9) Tangentin vasemmalle puolelle jäävän kielen vaimennusalueen pituus
- 10) Esivahvistinlokeron vaatima tila
- 11) Viritystappien sijoittelu
- 12) Rungon korkeus

### 13) Muotoilu

Useimmat edellä mainituista parametreista liittyvät toisiinsa monimutkaisiksi verkoiksi, mistä syystä johonkin mittaan koskeminen aiheuttaa helposti ketjureaktion, joka pakottaa muuttamaan puolet jo tehdyistä mitoituksista. Siksi pyrin saamaan mahdollisimman paljon apua Wählström-klavikordin piirustuksesta muistellen kyseisen soitintyyppin soitannollisia ominaisuuksia. Myös Vapaavuoren tutkimuksesta oli hyötyä suunnittelussa. Sen sijaan aiemmasta kaksioктаavisesta prototyypistäni en sen primitiivisyyden takia suunnittelutyössä juurikaan hyötynyt.

Koskettimiston oktaavijako ei ollut ongelma. Valitsin arvoksi 162 mm, joka on hyvin tyyppillinen, modernia käytäntöä hiukan kapeampi mitta. Kosketinpintojen mitat ovat myös barokin ajan mukaiset eli selvästi modernia lyhyemmät.

Mikrofonien vaatima tila rajoitti kaikukopan kokoa, mutta tämä ei ollut ongelma, olinhan jo muutenkin päättänyt soittimen olevan luonteeltaan puoliakustinen, ja liian suuri kaikukoppa olisi vain ollut haitaksi.

Vaimennushuovan määrä varsinkin bassossa on perinteisissä klavikordeissa riittämätön. Alimmat nuotit jäävät soimaan huomattavan pitkään koskettimen noston jälkeen. Koska yleisvoimakkuus on kuitenkin hyvin matala, eivätkä pisimpään soimaan jäävät matalat osasävelet edes kunnolla tule kaikupohjan säteilemiksi, tämä ei ole yleensä suuri ongelma. Sähköklavikordissa sen sijaan oli syytä panostaa vaimennusvyöhykkeen riittävyys. Tenorialueella perinteisissä klavikordeissa on hyvin pitkä pätkä kieltä tangentin ja takapinnan välillä. Tämän takia alueen kosketus on usein liian joustava. Historiallisesti ainakin Hubert otti alueen tarkempaan kontrolliin. Ainoana ja varsin pienenä haittana on, että kielten takapinnalistaan tulee yksi liitos ja mutka lisää. Samoin käy koskettimiston takapään ja ohjurilistan muodoille, jos niiden halutaan seuraavan takapinnarivistön muotoa. Kyseessä on siis varsin pieni lisävaiva, jolla kuitenkin saavutetaan taiseempi kosketustuntuma ilman kielipaksuuksiin puuttumista ja tästä syystä päädyin myös itse edellä kuvattuun ratkaisuun.

### 3.7 Soittimen viritysjärjestelmästä

Koska noudatin sähköklavikordissa aiemmin kuvailtua sidottua rakennetta keski-c:stä ylöspäin, on siitä seurauksena, että soittimen viritysjärjestelmän, eli temperoinnin, täytyy olla ennalta määrätty, eikä sitä voi ilman tangenttien paikkojen uudelleensijoit-

tamista muuttaa. Koska sidonnat määrittävät viiden eri puoliaskelparin koot oktaavissa, niin viritysjärjestelmä tulee vakioida. Pienet muutokset onnistuvat kyllä tangenttia sivusuunnassa taivuttamalla, mutta kyseinen toimenpide ei ole suotava, koska se aiheuttaa nopeasti tangentin kiinnityksen löystymisen. Ajattelin alun perin käyttää tasavireistä järjestelmää. Vanhaa musiikkia paljon soittaneena ajatus alkoi kuitenkin tuntua huonolta, koska olen tottunut siihen, että vähän etumerkkejä sisältävät sävellajit soivat puhtaammin kuin runsaasti etumerkkejä sisältävät. Tasavireinen järjestelmä on myös varsin vaikea tehdä soittimeen, jonka ääni ei ole erityisen pitkäkestoinen. Tasavireisessä järjestelmässä ei ole muita luonnonpuhtaita intervaleja kuin oktaavit, ja kvintit ovat niin lähellä puhdasta, että niiden oikea koko on jo vaikeaa kuulla.

Kovin kauaksi tasavireisestä en toisaalta halunnut loitota, koska muuten soitin olisi käyttökelvoton modernien kiinteävireisten soitinten parissa musisoidessa. Päädyin systeemiin, jossa terssit f-a, c-e, g-h ja d-fis ovat hiukan (yhden kuudesosakomman verran) puhtaampia kuin tasavireisessä, terssit es-g, b-d, a-cis ja e-gis ovat tasavireisiä, ja loput neljä ovat vastaavasti kuudesosakomman verran epäpuhtaampia kuin tasavireisessä.

Klavikordin sidonnat helpottavat virittämistä kahdella tavalla. Ensimmäkin, kielipareja on ainoastaan seitsemän oktaavin alueella.<sup>9</sup> Toiseksi, sidotut äänet huomioon ottamalla voidaan viritysjärjestelmä suunnitella sellaiseksi, että temperoitavat, eli hiukan puhtaasta poikkeavat intervallit syntyvät vaivatta muita, puhtaita intervaleja virittäessä. Kehittämässäni järjestelmässä täytyy ainoastaan sävel d temperoida, muutoin viritys tehdään puhtaiden kvinttien ja kvarttien avulla.

Taulukossa 3.3 näkyvät kaikkien kvinttien koot Pythagoraan kommissa mitattuna. Kolmas rivi kertoo virituksen etenemisjärjestyksen. Esimerkiksi vaiheessa yksi viritetty  $e^1$  antaa sidontansa kautta sävelen  $es^1$ , josta on temperoimaton kvintti säveleen  $gis^1$ . Kun kaikki puhtaat kvintit on ensin viritetty, niin sidonnat ovat jo määrittäneet kaikkien muiden sävelten paikat d:tä lukuun ottamatta. Se on seuraavaksi viritettävä siten, että siitä ylöspäin olevat kvartti ja kvintti ovat yhtä epäpuhtaita. Temperointi tehdään ensin yksiviivaisessa oktaavissa ja siirretään sen jälkeen muihin oktaaveihin. Onnistumisen edellytyksenä on tietenkin, että tangenttien paikat on laskettu ja säädetty tarkasti.

---

<sup>9</sup> Tämä tietysti vain sidotulla alueella.

Taulukko 3.3 *Soittimen viritysjärjestelmän kvinttien koot ja viritysjärjestys.*

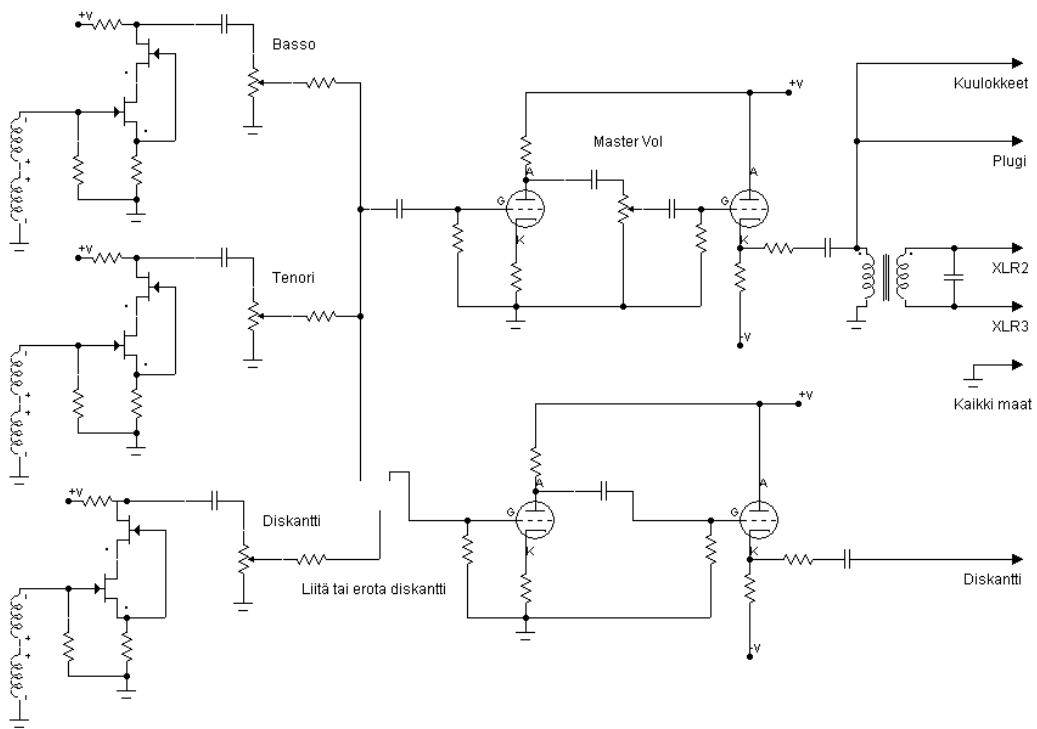
es-b	b-f	f-c	c-g	g-d	d-a	a-e	e-h	h-fis	fis-cis	cis-gis	gis-dis
-1/6	0	0	-1/6	-1/6	-1/6	0	-1/6	-1/6	0	0	0
	6	5				1			4	3	2

### 3.8 Elektroniikka

Olisin halutessani voinut jättää soittimen elektroniikan osalta täysin passiiviseksi. Tällöin soittimessa olisi voinut olla yksinkertainen passiivinen mikseri eri mikrofonien balanssin säätämiseksi. Koska klavikordin kielten amplitudi on hyvin pieni, jää mikrofonien tuottama signaalitaso kovin alhaiseksi. Lisäksi mikrofonia kuormittavien pitkien johtojen kapasitanssi olisi laskenut mikrofonin resonanssitaajuutta tehden soinnin riippuvaiseksi kaapeloinnin pituudesta ja laadusta. Pietsomikrofonien tuottama signaalitaso olisi ollut myös niin matala, että ne olisi pitänyt jättää pois, jos aktiivielektroniikkaa ei olisi ollut. Näistä syistä päätin tehdä mikrofoneista aktiiviset, eli integroida mikrofonipaketteihin pienet etuvahvistimet.

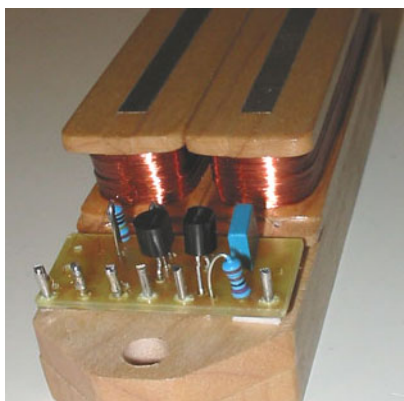
Lisäksi soittimessa on elektroniputkillä toteutettu etuvahvistin. Valitsin vahvistinkomponentiksi elektroniputken lähinnä henkilökohtaisten mieltymyksieni takia. Putket tuovat oman lisänsä soittimen ulkonäköön ja niiden tuottama toinen harmoninen särökomponentti koetaan usein miellyttäväksi, sen sanotaan lisäävän ääneen lämpöä. Putket eivät siis pelkästään vahvista, vaan myös värittävät hiukan niiden läpi kulkevaa signaalia.

Esivahvistimessa on passiivinen mikseri, jossa eri mikrofonien balanssia voidaan säätää. Etuvahvistin kykenee syöttämään pitkiäkin kaapeleita ilman äänenlaadun huonontumista, ja signaalitaso vastaa normaalia linjatasoa. Tämän seurauksena soitin on helppo liittää mihin tahansa signaaliprosessoreihin ja vahvistimiin. Etuvahvistimessa on lisäksi mahdollista erottaa basso- ja diskanttipuoli omiin ulostuloihinsa, jolloin niitä on mahdollista efektoida eri tavoilla. Myös pietsomikrofonien signaalia voi joko sekoittaa pääkanavaan tai ottaa sen ulos omasta liittimestään. Lisäksi soittimessa on ammattimainen muuntajabalansoitu kelluva lähtö, jota käyttämällä voidaan vaikeissakin olosuhteissa saavuttaa häiriötön signaalinsiirto esimerkiksi mikseriin. Magneettimikrofonien signaalitie on esitetty kuvassa 3.1. Kattavampi kytkentäkaavio kaavio on liitteissä.



kuva 3.1 Signaalitien elektronikka.

### 3.8.1 Magneettimikrofonit



Kuva 3.2 Aktiivimikrofoni.

Mikrofonipaketeissa on kahden J-FETin ja muutaman vastuksen muodostamat etuvahvistimet. Nämä näkyvät kuvan 3.1 vasemmassa laidassa. Vahvistus on noin 45-kertainen ja ottokapasitanssi 80 pF, mikä ei ole aivan mitätön arvo, muttei kuitenkaan vaikuta mikrofonin taajuusvasteeseen liikaa. Aktiivimikrofonin lähtöimpedanssi on matala, 4,7 k $\Omega$  verrattuna pelkän mikrofonin maksimissaan n.100 k $\Omega$  impedanssiin.

Kuvassa 3.2 näkyy mikrofonin pätyyn kiinnitetty esivahvistin. Siinä on kaksi pienikohinaista J-FETtiä kaskadikytkennässä. Kaskadoinnin tarkoitus on pienentää kytkennän ottokapasitanssia, joka madaltaa mikrofonin resonanssitaajuutta. 80 pF ottoka-

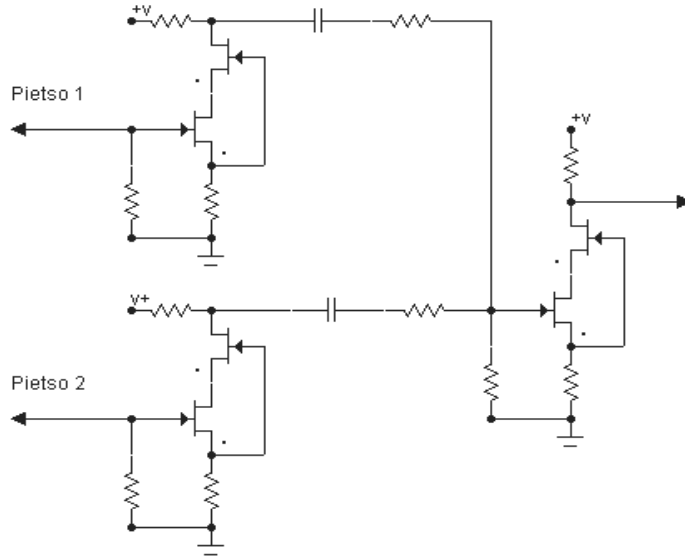
pasitanssi vaikuttaa mikrofonin saman verran kuin 80 cm hyvälaatuista kaapelia, joten esivahvistimen sijoitus mikrofonin välittömään läheisyyteen on järkevää. Näin vältetään myös korkeaimpedanssiseen siirtolinjaan liittyvät häiriöalttiusongelmat.

### 3.8.2 Pietsomikrofonit

Kielisiltojen sisään sijoitetut koaksiaaliset pietsokaapelit osoittautuivat erittäin epäherkiksi, ja lisäksi niiden asennustapa vielä minimoi niiden tuottaman signaalin. Pietso-kaapeli sinänsä on täysin häiriöltä suojattu koaksiaalisen rakenteensa takia, jossa vaippa on kytketty maahan. Kohinaa kuitenkin syntyy seuraavassa kuvatulla mekanismilla.

Kaapelin käyttäytymistä sen synnyttäessä jännitevaihteluita voidaan mallintaa jännitelähteellä, joka on kytketty sarjaan passiivisen kapasitanssin kanssa (Brown 2001, s.19). Tämä kapasitanssi riippuu käytetyn kaapelinpätjän pituudesta ja on esim. soittimen diskanttipietsossa 300 pF. Kun tätä lähettä kuormitetaan resistiivisesti, muodostuu ensimmäisen asteen ylipäästösuodin. Esimerkiksi yhden  $M\Omega$  kuormitusvastus tuottaa 500 Hz:n suotimen. Jotta kaapelin tuottamaa signaalia ei tarpeettomasti vaimenneta, on etuvahvistimen ottovastuksen oltava iso. Kaikissa vastuksissa syntyy lämpökohinaa kaavan  $U = 2\sqrt{kTRB}$  mukaan, jossa  $k$  on vakio,  $T$  lämpötila,  $R$  resistanssi ja  $B$  kaistanleveys. Kaavasta voi päätellä kohinan olevan valkoista. Jokainen vastus siis tuottaa sitä enemmän kohinaa, mitä suurempi se on. Pietsokaapelin vaatima, vähintään 1  $M\Omega$  vastus kohisee jo huomattavasti siihen signaaliin nähden, jonka kaapeli klavikordissa tuottaa. Kaapelin kapasitanssi tuottaa impedanssin, joka pienenee suurilla taajuuksilla kohden. Tämä vaikuttaa vahvistimen ottovastuksen rinnalla ja oikosulkee vastuksen kohinaa etenkin suurilla taajuuksilla siten, että vastuksen ja kaapelin yhteinen kohinaspektri onkin vaaleanpunaista, eli 6 dB oktaavilla laskevaa.

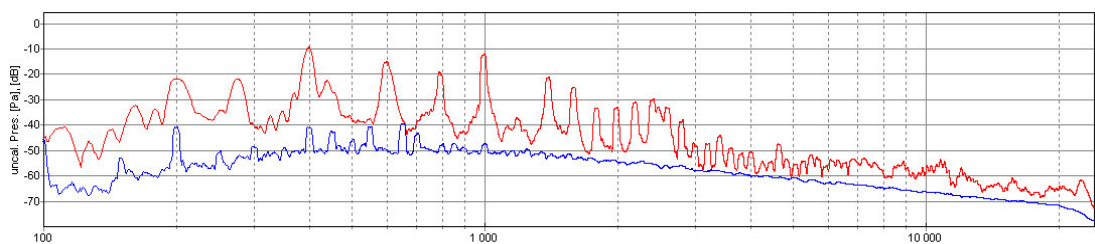
Kaapelien signaalit vahvistetaan ja summataan kuvassa 3.3 näkyvällä kytkennällä. Se on samantyyppinen kaskadoitu J-FET-vahvistin kuin magneettimikrofoneillekin, mutta suuremman vahvistustarpeen takia kaskadiblokkeja on kaksi perätysten.



Kuva 3.3 Pietso-mikrofonien etuvahvistin.

Vahvistinblokkien välissä on yksinkertainen vastusmikseri diskantin ja basson signaalien yhdistämiseksi. Kokonaisvahvistus on 53 dB molemmille pietsoille, eli otossa oleva kohina vahvistuu melkoiseksi. Koska kaapelin kapasitanssi parantaa tilannetta korkeita taajuuksia kohden, on kytkentäkondensaattorit mitoitettu tuottamaan 1000 Hz ylipäästösuodin.

Ensimmäiset mittaukset ja kuuntelukokeet paljastivat karun totuuden. Signaali-kohina-suhde jäi onnettoman huonoksi. Kuvassa 3.4 on mittaus, jossa näkyy pienen g-sävelen tuottama signaali. Sen alla, vain 20–40 dB päässä on pohjakohina, jonka diskanttia kohti laskeva luonne näkyy selvästi.



Kuva 3.4 Pienen g- sävelen ja pohjakohinan signaalit pietso-mikrofonivahvistimesta.

Tietenkin enemmän ääniä sisältävässä tekstuurissa signaali-kohina-suhde paranee, mutta mitä ilmeisimmin pietson käyttö rajoittuu korkeintaan pieneksi mausteeksi magneettimikrofonien ääneen.

### 3.8.3 Esivahvistinosion rakenteesta

Soittimen vasemmassa laidassa on pienehkö tila, johon on sijoitettu kytkennän putki- vahvistin- ja mikseriosio, gate-pulssielektroniikka ja osa liitännöistä. Virtalähteen ja symmetroidun XLR-lähdön liittimet ovat soittimen takasivussa. Tilan häiriösuojaukseksi riittävät kuparinen pohjalevy ja messinkiset kansi- ja plugiliitinlevy.

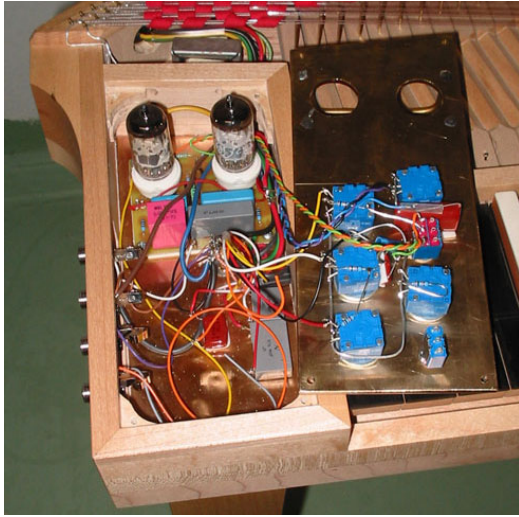
Signaalitiellä on useita kytkentäkondensaattoreita, jotka muodostavat ylipäästösuo- timen. Taajuusvaste alkaa pääkanavassa pudota 150 Hz alapuolella ensin 6 dB oktaavi ja noin 60 herzissä 18 dB oktaavi. Ilman näitä suotimia bassotaajuuksien taso oli liian voimakas ja matalat häiriöään<sup>10</sup> pääsivät esteettä eteenpäin. Putkivahvistinosion en- simmäinen putki vahvistaa signaalin kahdeksankertaiseksi ja toinen putki toimii niin sa- nottuna katodiseuraajana tuottaen matalan, noin 300  $\Omega$  lähtöimpedanssin. Pääsignaali- haarassa on lisäksi voimakkuudensäädin ja kolme eri ulostuloa, joista yksi on tavallinen 6,3 mm monoplugi, toinen on kuulokkeita varten ja kolmas on muuntajabalansoitu XLR-lähtö.

### 3.8.4 Virtalähteen kytkentä

Elektroniikkaa varten on ulkoinen verkkovirtalähde, joka syöttää reguloituja +12, +24 ja -24 voltin jännitteitä soittimen takasivussa sijaitsevaan 4-napaiseen XLR-liittimeen. Valitsin liitintyyppin sen lukkiutuvuuden, yleisyyden ja kestävyuden takia. 4-pinnisenä se ei myöskään voi sekoittua audiopuolen liittimiin. Virtalähteessä on virtakytkin ja suojamaan erotuskytkin. Jos soitinta käytetään ilman ulkoisia lisälaitteita, tai mikään siihen kytketyistä laitteista ei ole kiinni suojamaassa, täytyy suojamaan kulkea soittimen oman virtalähteen kautta, jotta häiriöpotentiaaleille on tie maahan. Jos soitin sen sijaan saa suojamaapotentiaalin jonkun siihen kytketyn laitteen kautta, niin maalenkkien ai- heuttamien hurinoiden välttämiseksi voi virtalähteen suojamaan irrottaa signaalimaasta.

---

<sup>10</sup> Lähinnä kyse oli soittimen käsittelyäänistä, ja alimpien kielten puutteellisen vaimennuksen takia soimaan jäävistä alimmista osasävelistä.

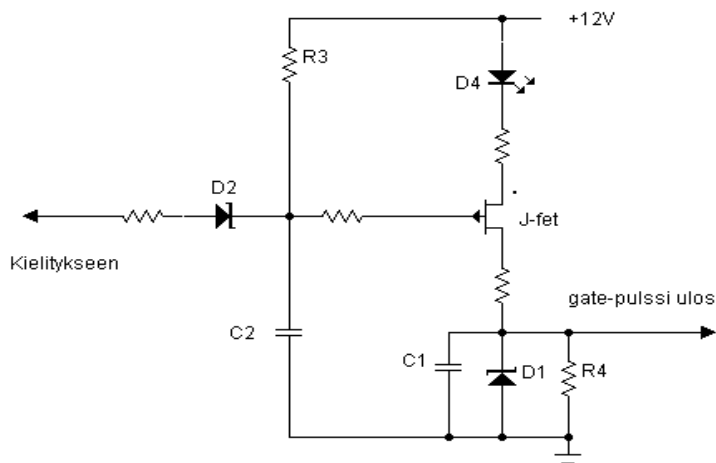


Kuva 3.5 *Elektroniikkatila avattuna.*

### 3.8.5 Gate- eli avainnuspulssi

Soittimessa on myös toinen, itsenäinen elektroniikkaosionsa. Pohdin erilaisten ohjaussignaalien tuottamista soittimesta ja MIDI:n ja erilaisten ohjausjännitesignaalien joukosta tyydyin valitsemaan yksinkertaisimman, mutta mahdollisesti myös käyttökelpoisimman ratkaisun. Soittimen kielitys ja toimintatapa mahdollistavat yksinkertaisen menetelmän eräänlaisen gate-pulssin tuottamiseksi. Koska soittimessa on parikielitys, niin jokainen kielipari yhdistyy sähköisesti toisiinsa tangentin välityksellä, kun kosketin painetaan alas. Kun jokaisen kieliparin ”alempi” kieli kytketään galvaanisesti rinnan ja samoin tehdään ”ylemmille” kielille, niin näiden kahden rinnankytketyn kielisarjan kontaktista näkyy, onko jokin kosketin painettuna alas.

Gate-pulssit ovat tyypillisesti tasoltaan 5 V, ja yksinkertaisin tapa tämän tuottamiseen olisi ollut kyseisen jännitteen johtaminen toiseen kielisarjaan. Tangentin yhdistäessä kieliparin galvaanisesti toisiinsa olisi toisesta kielisarjasta saatu suoraan haluttu potentiaali. En kuitenkaan toteuttanut ideaa näin, koska sähkömagneettisten kenttien mikrofoneihin tuottamien häiriöiden minimoimiseksi on kielitys tapana maadoittaa. Päätin siksi maadoittaa toisen kielisarjan ja yksinkertaisen elektronisen kytkennän avulla tuottaa gate-pulssin toisen kieliryhmän potentiaalilla perusteella. Tämä saadaan aikaan kuvassa 3.6 esitetyllä kytkennällä.



Kuva 3.6 Gate-pulssin elektronikka.

Kun kielitykseen kulkeva johto kelluu, eli ei ole yhdistettynä maatasoon, niin kondensaattori C2 latautuu vastuksen R3 kautta +12 volttiin. Tällöin J-FET on sulkutilassa, eikä ei sen läpi kulje lainkaan virtaa. Kun kielitykseen kulkeva johto saa maatasokontaktin, niin kondensaattori C2 purkautuu zener-diodin D2 määräämään tasoon (9,1 V) ja J-FET alkaa johtaa. Kondensaattori C1 latautuu nopeasti zener-diodin D1 määräämään tasoon (6,2 V) ja tämä potentiaali yhdistetään liittimelle. Kondensaattorit ja vastukset aiheuttavat jännitteiden käyttäytymiseen aikavakioita. Käytetyillä komponenteilla nousuaika on hyvin nopea, alle millisekunnin, mutta laskuaikavakio pulssille on 10 millisekuntia. Tämän tarkoituksena on suodattaa signaalista pois mahdolliset lyhytaikaiset katkokset kielten ja tangentin kontakteissa.

Gate-ulostulo on toiminnaltaan primitiivinen. Se voi ainoastaan ”kertoa” onko yksikään kosketin painettuna alas. Tämä antaa kuitenkin riittävästi informaatiota moniin tarpeisiin, ja kytkennän toiminta vastaa analogisyntetisaattoreiden gate-pulssia. Tyypillinen käyttökohde voisi olla auto-wah-wah –efekti tai jokin muu gate-pulssin avaintamalla verhoikäyregeneraattorilla ohjattu suodin. Tätä kirjoittaessani en ole vielä kokeillut mitään efekteistä käytännössä.



Kuva 3.7 *Kielten pareittainen johdotus.*

Kuvasta 3.7 näkyy, miten toteutin kielten ”sähköistämisen”. Kuva on soittimen takasi-  
vun kohdalta. Yhden millimetrin paksuinen hopealanka kiertää joka toisen kielen taka-  
pinnan ympäri siten, että kielen takasilmutta muodostaa sähköisen kontaktin lankaan.  
Taaksepäin viistoon taivutettu takapinna painaa kieltä lankaa vasten ja pitää koko kon-  
septin kasassa. Siistin ulkonäön aikaansaamiseksi tein messinkiputkesta taaemmalle,  
näkyviin jäävälle langalle eräänlaisen peitekourun. Kuva on otettu kesken soittimen kie-  
litysvaiheen, jolloin vasta osa kielistä oli paikallaan. Jokaiseen kieleen on laitettu kutis-  
temuovisukkaa heti takasilmutasta eteenpäin, jotta kieli ei yhdistyisi epätoivotusti vie-  
reisiin kieliin tai väärään hopealankaan.

### **3.9 Mikrofonien suunnittelusta**

Ensimmäisen, kaksioктаavisen sähköklavikordini suunnittelin toimimaan millä tahansa  
sähkökitaran mikrofonilla vahvistettuna. En halunnut enää nelioктаaviseen soittimeen  
soveltaa kitaramikrofoneja seuraavista syistä:

- 1) Sähkökitaran mikrofoni on vakiolevyinen ja suunniteltu kuudelle kielelle. Säh-  
kökitaran mikrofonien käyttö isommassa klavikordissa olisi ikävästi rajoittanut  
kieliryhmien laajuuden suunnittelua ja pakottanut kompromisseihin.
- 2) Sähkökitaran mikrofonien pitää toimia ennen kaikkea kitaran ja kitaravahvis-  
timen kanssa tietyssä esteettisessä ympäristössä. Nämä argumentit eivät päde  
sähköklavikordin tapauksessa. On parempi etsiä parhaat rakenneratkaisut juuri  
sähköklavikordia varten.
- 3) Ison sähköklavikordin vaatimat useat mikrofonit olisivat tulleet kaupasta ostet-  
tuna huomattavan kalliiksi, varsinkin jos olisi hakenut ja kokeillut eri tyyppisiä.

Apua suunnitteluun löytyi jonkin verran netistä ja henkilökohtaisten soitinrakentajakontaktieni kautta. Kitaroihin mikrofoneja rakentelevien joukko on varsin laaja ja mikrofoniin sähköisistä ominaisuuksista löytyi TKK:n akustiikan laboratoriolle tehty diplomahtyö (Jungmann 1994).

### **3.9.1 Sydänmateriaalit ja geometriat**

Magneettimikrofoni tarvitsee toimiakseen staattisen magneettikentän, jota kentässä liikkuva ferromagneettinen kieli moduloi. Tämä kenttä luodaan poikkeuksetta kestopagneeteilla. Magneetti voi olla yksittäinen pitkänomainen suorakulmainen kappale tai rivi useampia pieniä sylinterimäisiä magneetteja. Materiaalina kyseeseen tulevat lähinnä perinteinen AlNiCo tai modernimmat keraamiset, ferriittiset magneetit. Materiaalien välillä on eroa paitsi kentän voimakkuudessa, niin myös sen muodossa. Kitaramikrofoneissa keraamisia magneetteja käytetäänkin useimmiten erillisten metallisten napakappaleiden kanssa.

Magneetin voimakkuus vaikuttaa mikrofoniin herkkyteen ja taajuustoistoon (Jungmann 1994, s. 30), mutta liikkumavaraa ei loppujen lopuksi ole kovin paljon. Liian voimakkaana magneetin vuorovaikutus kielen kanssa synnyttää epämääräisesti huojuvan, epäpuhtaan äänen. Kokeilemani ferriittiset magneetit olivat niin voimakkaita, että etäisyys kieleen olisi pitänyt olla tarpeettoman suuri. Toisaalta herkkyys ei ollut juurikaan parempi kuin sormituntumalta oleellisesti heikomman, kapeamman AlNiCo-tangon. Näillä heikommilla magneeteilla kielen saattoi tuoda mielivaltaisen lähelle ilman havaittavaa epäpuhtautta.

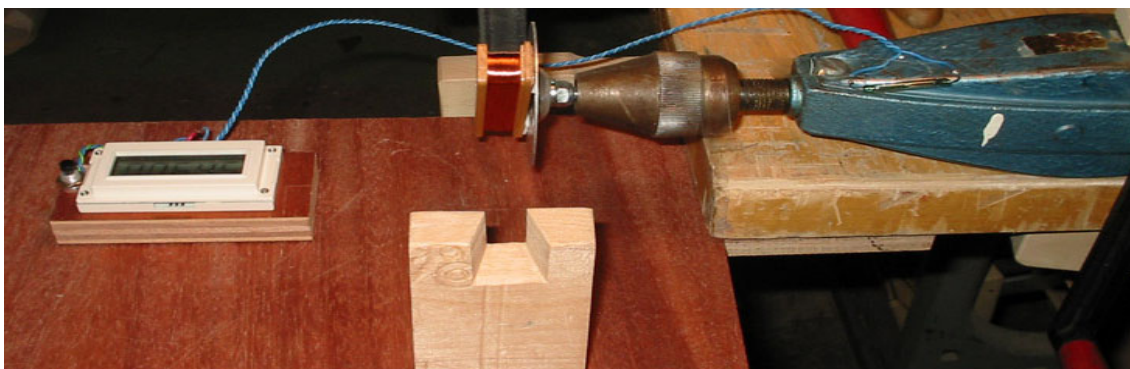
Kitaramikrofoneissa käytetään usein pieniä, noin viiden millimetrin läpimittaisia sylinterimäisiä magneetteja. Jokaista kieltä kohden on yksi magneetti, ja kenttä saadaan kohdistettua sinne, missä sitä tarvitaan. Klavikordin hyvin tiheä kielitys tekee tämän ratkaisun edut tyhjäksi. Tankomainen sydän toimii vähintään yhtä hyvin. Ainoa varjopuoli on se, että tankoja saa Suomesta ainoastaan yhtä pituutta, 60-millisenä. Päädyin tankomagneetteihin soittimen ylä- ja keskialueella, mutta kielen luonteva jako bassossa ei sopinut yhteen 60 millimetrin pituuden kanssa ja päädyin tekemään alimman mikrofoniin 13 yksittäisellä, vierä viereen sijoitetulla napakappaleella. (Katso kuvat 3.9 ja 3.10.)

### 3.9.2 Käämien rakenne

Magneettisydäntä ympäröi käämi, johon magneettivuon vaihtelu indusoituu. Käämi tehdään hyvin ohuesta lakatusta kuparilangasta (0,065 mm), koska kierroksia täytyy riittävän herkkyyden saavuttamiseksi olla paljon ja käämin tila on rajallinen. Käämi tehdään runkoon, joka ympäröi magneetteja mahdollisimman lähellä, tai suoraan magneettien päälle.

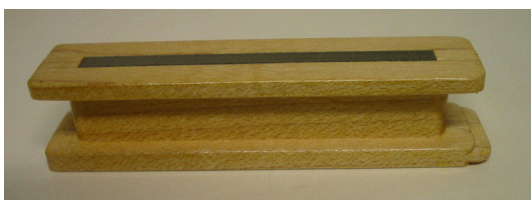
Kierroksien suuresta määrästä johtuen jonkinlainen käämintäkone on tarpeen. Rakensin itselleni verstaasta löytyneistä tarpeista varsin toimivan käsikäyttöisen laitteen. Asensin laitteeseen myös kierroslaskurin todettuani, että kierrosten laskeminen päässä riisti huomion monelta muulta tärkeältä asialta. Monet rakentelijat ovat tehneet itselleen pitkälle automatisoituja käämintäkoneita, mutta pääsin riittävän tasalaatuiseen lopputulokseen omalla primitiivisellä, käsiohjatulla ja käsin veivattavalla versiollani.

Käämin geometria vaikuttaa mikrofonin ominaisuuksiin. Korkea ja kapea käämi tuottaa kirkkaamman äänen kuin matala ja leveä. Itselläni ei juuri ollut näkemystä siitä, että minkälaiseen lopputulokseen olisi pyrittävä, ja toisaalta monet mikrofonien sointiin vaikuttavat seikat, joita nettilähteet (mm. *Factors Affecting How a Pickup Sounds*) luetelivat, tuntuivat kuuluvan salaoppien kategoriaan. Tiukan insinöörimäistä tietoa käämi-geometriasta ei tarjonnut valitettavasti edes Jungmannin diplomityö, mutta S. K. Guitar Specialties:in nettisivuilta löytyi perinteisten magneettigeometrioiden FEM-simulaatioita. Käämirunkojen mitat perustuvat lähinnä saatavilla olevien magneettien ja puisten runkojen vaatimien ainevahvuuksien tuottamiin mittoihin. Käämien korkeus on kaikissa mikrofoneissa kymmenen ja sisäleveys kahdeksan millimetriä.



Kuva 3.8 Käämintäkone kierroslaskureineen.

Päästäkseni jonkinlaiseen alkuun mikrofoniin kehittäessä rakensin ensin yksinkertaisen monokordin<sup>11</sup>, eli yksikielisen soittimen ilman kaikukoppaa, jossa oli mekaniikka samanlaisen näppäyksen tuottamiseen toistuvasti. Tein erilaisia koemikrofoneja ja päätin hyvin pian, että magneettimateriaalina tulee olemaan AlNiCo yllä mainituista syistä, ja totesin että klavikordin kielten vaatimattomasta amplitudista johtuen sähkömagneettiset häiriökentät tulisivat aiheuttamaan hyvin vaatimattoman signaali-hurina-suhteen. Hurinoita vastaan on sähkökitaroissa perinteisesti taisteltu ns. humbucker-mikrofoneilla, joissa on kaksi kela-magneettiasetelmaa rinnakkain. Magneetit ovat asetelmissa napaisuudeltaan eri päin ja käämit kytketään sarjaan (tai harvemmin rinnan) myös napaisuus käännettynä. Tästä seuraa ulkopuolisten magneettisten häiriökenttien kumoutuminen käämeissä, mutta hyötysignaalit sen sijaan summautuvat (Jungmann 1994, s. 35). Haittapuolena kyseisessä rakenteessa on sen leveys ja magneetikentän muoto, joka on leveämpi kuin yksikelaisessa mikrofoniin. Humbucker pyrkii täten reagoimaan pidempään pätkään kieltä kuin yksikelainen, ja seurauksena on korkeampien osasävelien kumoutuminen ja tummempi sointi. En ollut tästä ajatuksesta kovin innoissani, koska olisin halunnut kielistä mieluiten talteen maksimaalisen taajuuskaistan, mutta vaihtoehtoja ei tuntunut olevan. Yksikelaisella mikrofoniin klavikordin signaali-hurina-suhteeksi olisi tullut korkeintaan 40 dB verstaallani vallitsevassa häiriökentässä, mutta humbuckerilla signaali-hurina-suhde parantui noin 26 dB, eli varsin merkittävästi.



Kuva 3.9 *Mikrofonirunko 1.*



Kuva 3.10 *Mikrofonirunko 2.*

---

<sup>11</sup> Erilaisilla monokordeilla oli antiikin ajoista uudelle ajalle asti keskeinen osuus musiikkiin ja erityisesti viritysjärjestelmiin liittyvissä kokeiluissa ja opetuksessa. Niissä oli yleensä vähintään yksi liikuteltava talle, jonka paikkaa vaihtamalla voitiin demonstroida eri intervaleja. Hauskana yhteensattumana pidän sitä, että nimenomaan monokordia pidetään yhtenä mahdollisista klavikordin esi-isistä (Brauchli 1998, s. 8), ja nyt minulle tuli sille käyttöä modernia sähköklavikordia suunnitellessani.

Mikrofonien rungot jyrksitytin vaahterasta Arno Pellon verstaalla. Kuvassa 3.9 on diskantti- ja tenorialueella käytetty tankomagneettiin perustuva malli ja kuvassa 3.10 bassalueen lieriömagneettiriviin perustuva versio.

Seuraavaksi piti määritellä käämikierroksien lukumäärä. Käämin induktanssi ja herkkyys ovat likimääräisesti verrannollisia käämikierroksien määrään. Sähkökitaroiden mikrofoneissa on perinteisesti varsin paljon kierroksia. Esimerkiksi Fender Stratocasterin mikrofoneissa on tuotantovuodesta hieman riippuen noin 8000 käämikierrosta. Käämin induktanssi ja käämin päiden välillä vaikuttava kapasitanssi muodostavat resonanssiin, jonka taajuus on määräytyy seuraavan kaavan mukaan

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}},$$

jossa  $L$  on käämin induktanssi ja  $C$  kapasitanssi. Sähkökitaroiden mikrofoneissa resonanssitaajuus vaihtelee hyvinkin paljon. Se on esimerkiksi Fender Lace Sensor 2 –mikrofonissa 3 kHz ja perinteisessä Stratocaster-mikrofonissa n. 11 kHz (Jungmann 1994, s. 47). Resonanssitaajuudella mikrofonin taajuusvasteessa on korostuma, ja korostuman yläpuolella taajuusvaste putoaa nopeasti. Jos siis haluaa tehdä laajakaistaisen mikrofonin, on resonanssi saatava mahdollisimman ylös. Kaavasta nähdään, että sekä induktanssin että kapasitanssin pienentäminen nostaa resonanssia. Induktanssi pienenee käämikierrosten määrää vähentämällä, mutta samalla herkkyys laskee. Kapasitanssiin vaikuttaa se, miten tiukasti käämilanka on kiinni viereisissä lankakerroksissa. Käämiä ei kannata tehdä tietoisesti löysäksi, mutta käsin tehdessä syntyvä satunnainen langan risteileminen vähentää lankojen kontaktipintaa. Langan eristeen paksuus vaikuttaa myös kapasitanssiin, mutta siinä ei ollut vaihtoehtoja. Kokeilin myös menestyksellä käämin jakamista muutamaan kerrokseen paperisilla välieristeillä, mutta luovuin menetelmästä sen työläyden takia. Ymmärsin myös, että on aivan turhaa yrittää nostaa resonanssia kuuloalueen ääri rajoille, kun humbucker-tyyppinen mikrofoni tulee joka tapauksessa soimaan tummasti.

Päädyin lopulta 4000 kierrokseen jokaisessa mikrofoniin. Suurempi kierrosmäärä ja sen tuoma herkkyys ei ollut tarpeen, koska olin joka tapauksessa päättänyt tehdä mikrofoneista aktiiviset.

Valmiissa humbucker-mikrofonipaketeissa esivahvistimiseen resonanssitaajuudet olivat diskantille 11 kHz, tenorille 8,5 kHz ja bassolle 7 kHz.

## 4 Rakentaminen

Kovin seikkaperäinen selostus rakentamisesta kaikkine yksityiskohtineen olisi kokonaan toisen työn aihe. Tässä yhteydessä on tarpeen tarjota vain lyhyehkö kuvaus rakennusprosessista. Sähköklavikordin rakentaminen ei eronnut menetelmiltään radikaalisti normaalin klavikordin rakentamisesta. Rungon muotoilussa tekemäni muutamat poikkeavat ratkaisut eivät nekään juuri työmenetelmiä muuttaneet. Kaikki soittimen sähköistämiseen liittyvä piti tietenkin ottaa alusta alkaen huomioon, mutta monet ratkaisut saivat lopullisen muotonsa vasta työn edetessä. Eräänlainen *tehdessä suunnittelu* olikin ominaista tälle puolelle projektia.

Soitinrakentamista leimaa se, että osa rakenteista tehdään piirustusten mukaisesti mittoihin, mutta joitain osia sovitellaan jo tehtyihin rakenteisiin. Ilman tietokoneavusteista suunnittelua ja koneistusta näin onkin järkevää toimia.

### 4.1 Runko

Koska oma verstaani on varustelultaan melko askeettinen ja puutyötaitoni ovat rajalliset, niin pyysin Arno Peltoa tekemään soittimeen osapaketin, eräänlaisen rakennussarjan, jossa kaikki alustavat isot koneistukset oli tehty. Myös rungon sivut ja viritystukin Pelto apulaisineen sovitti ja liimasi paikoilleen, ennen kuin vastuu siirtyi minulle.

Seuraavat työvaiheet etenivät perinteiseen tapaan. Sovitin koskettimiston takaohjainlistat paikoilleen soittimen takasivun sisäpuolelle. Niihin tein poraukset ja urat, joissa kosketinvarsien ohjainvät liikkuvat. Tämän jälkeen liimasin listat paikalleen soittimeen. Sovitin ja liimasin paikoilleen myös kaikupohjan kiinnityslistat. Merkitsin piirustuksen läpi viritystukkiin viritystappien paikat ja porasin tapeille sopivat reiät.

Sovitin paikoilleen koskettimiston keskipinnapalkin ja ruuvasin sen kiinni. Tämän jälkeen sovitin vielä yhtenäisenä levynä olevan koskettimistoaihion paikoilleen ja kiinnitin sen väliaikaisesti keskipinnapalkkiin muutamalla pinnalla. Seuraavaksi porasin koskettimien keskipinnojen reiät samalla kertaa koskettimiston läpi keskipinnapalkkiin. Tällä varmistin, että keskipinnat ja kosketinvarsissa niitä varten olevat reiät tulivat tarkasti kohdakkain.

## 4.2 Koskettimisto

Koskettimiston ollessa vielä yhtä palaa stanssasin keskipinnareiat suorakulmaisiksi hahloiksi. Merkitsin koskettimien ohjausevien paikat ja stanssasin niille kapeat raot koskettimiston takareunaan. Rakoihin ujutin sitten delrin-muoviliuskat ja katkoin ne oikean mittaisiksi. Seuraavaksi piirsin koskettimistoaihioon kosketinvarsien ja koskettimien paikat. Ensin sahasin kapealla käsisahalla koskettimien välit edestä auki, ja tämän jälkeen erotin vannesahalla koskettimet kokonaan toisistaan.

Kun punoin vielä soittimen bassokielet, en ollut enää riippuvainen Pellon verstaan koeista ja saatoin paketoida osat ja siirtyä verstaalleni Hakaniemeen.

Tasasin koskettimien välit höyläämällä ja hiomalla kosketinvarsia. Säädin koskettimien yläpinnan vaakatasoon keskipinnoja vääntelemällä. Seuraavaksi liimasin kromaattiset koskettimet paikoilleen ja tein kaikkiin koskettimiin pyöristyksen ja koristeviilaukset (kuva 4.1).

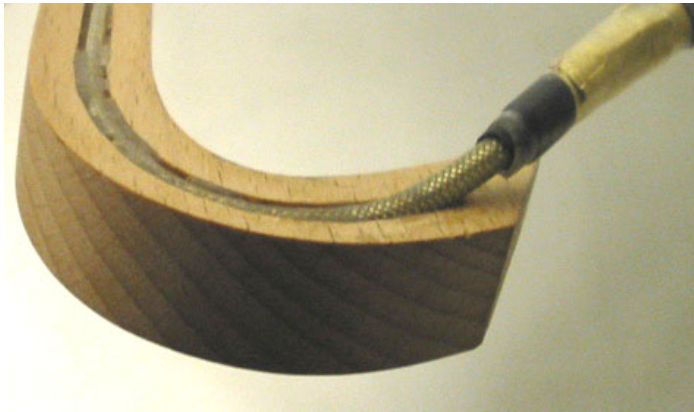


Kuva 4.1 Kuva koskettimien pyöristyksistä ja koristeviilauksista.

## 4.3 Kaikupohja ja kielisillat

Seuraavaksi oli kaikupohjatöiden vuoro. Ensin sovitin kaiukupohja-aihion sille tarkoitettuun tilaan. Tämän jälkeen tein kaikupohjan paksuushöyläyksen. Koska soitin oli lajissaan ensimmäinen, perustui paksuus pelkkään valistuneeseen arvaukseen. Koska kielisilltojen alapäävät tulevat erittäin lähelle soittimen reunoja, niin tein kaikupohjasta selvästi ohuemman kyseisistä paikoista taatakseni mahdollisimman hyvän soinnin myös alimmille kielille. Vastaavasti kaikupohjan kiinnitysrimoihin tein avarrukset

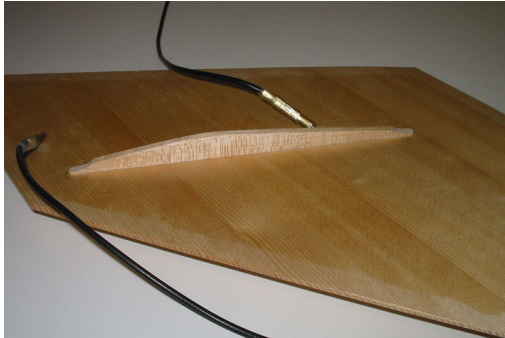
lisätäkseni kaikupohjan pinta-alaa kielisiltojen päiden lähistöllä. Kolmas keino kielisillan pään liikkuvuuden lisäämiseksi oli lyhyen raon jättäminen sen ja kaikupohjan väliin. Seuraavaksi viimeistelin kielisillat ja merkitsin ja porasin niihin kielipinnojen paikat. Löin pinnat paikoilleen ja katkoin ja viimeistelin niiden päät. Piirustuksen avulla tein kielisiltojen kohdistusta varten kahdet reiät ja pinnat kumpaankin kielisiltaan. Näin sain ne liimauksessa juuri oikealle paikalleen. Arno oli jyrsinyt kielisiltojen alapintaan 3 x 3 mm uran koaksiaalista pietsokaapelia varten. Liitin sopivat pätkät pietsokaapelia puris-



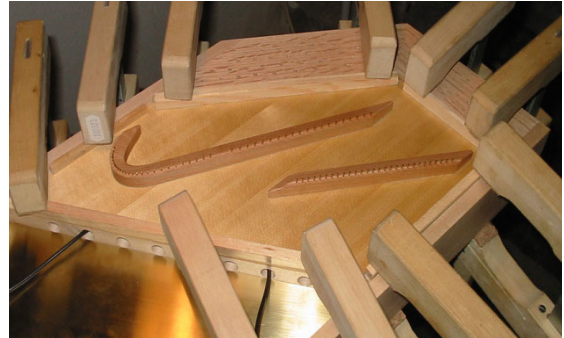
tusliitoksilla messinkiholkeilla esivahvistimelle vievää johdotusta varten ja liimasin pietsokaapelit uriinsa epoksilla. Kuvassa 4.2 näkyvät diskanttikielisillan pää altapäin, pietsokaapeli urassaan ja puristusliitos jatkokaapelia varten.

Kuva 4.2 *Pietsokaapelin upotus ja liitos signaalikaapeliin.*

Käytin sekä kielisiltojen että kaikupohjan liimaukseen nahkaliimaa, jotta rakenteet voisi ottaa auki myöhemmin, jos suunnittelussa olisi mennyt jotain pahasti pieleen. Liimasin kielisillat paikalleen. Seuraavaksi kokeilin puristimilla paikoilleen kiinnitetyn kaikupohjan ominaisuuksia näppituntumalta. Koputtelin sitä eri paikoista ja totesin, että kaikupohjan perusmoodi, eli sen matalin resonanssi, jossa koko ala liikkuu samassa vaiheessa, oli tarpeettoman vahva (Thwaites & Fletcher, 1981). Tämä olisi saattanut johtaa pahaan kiertoherkkyyteen kyseisellä taajuudella ja värittää akustista ääntä. Päätin tehdä ylimääräisen jäykisteriman kaikupohjan alapintaan kulkemaan molempien kielisiltojen ali (kuva 4.3). Jouduin turvautumaan hyvin summittaiseen arvioon päättäessäni riman mitoista ja paikasta, koska mitään tarkkaa referenssiä tai tavoitetta ei ollut. Rima on vaahteraa ja noin viisi millimetriä leveä, keskeltä noin 12 millimetriä korkea ja 180 millimetriä pitkä. Se jäykistää kaikupohjan keskiosaa huomattavasti sitoessaan basso- ja diskanttikielisiltojen alueet toisiinsa. Seuraava kokeilu tuotti jo lupaavamman koputteluäänien. Pahin kumina oli poissa ja kaikupohjan vaste kuulosti tasaisemmalta. Päätin jättää riman paikalleen.



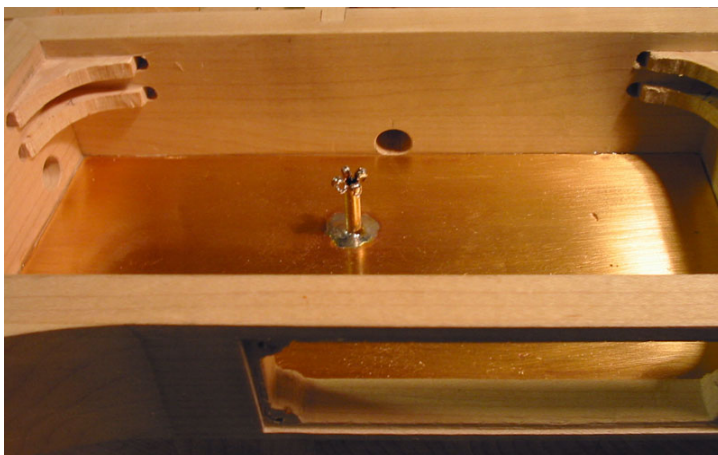
Kuva 4.3 Kaikupohjan jäykisterima.



Kuva 4.4 Kaikupohjan liimaus.

Uskaltauduin liimaamaan kaikupohjan paikalleen. Kuvassa 4.4 näkyy puristinarmada, jolla kaikupohja oli liimauspuristuksessa, sekä mikronitilan messinkilevy, joka oli vasta soitusvaiheessaan. Pietsomikrofonien kaapelointi pilkistää väliseinän rei'istä.

Kuvassa 4.5 näkyvän elektroniikkatilan reunaan, soittimen vasempaan sivuun tein reiän plugiliitinlevylle. Yhden millimetrin paksuinen levy uppoaa soittimen sivun pinnan tasalle ja kiinnittyy neljällä ruuvilla runkoon. Tilan pohjan peittää kuparilevy, jonka keskelle on juotettu koko soittimen tähtimaadoituspisteeksi tarkoitettu kukkamaisesti avautuva messinkiputken pätkä. Pohjan tasossa oikeassa seinässä olevasta reiästä tuo-



daan johdotus mikrofoneista ja takaseinän reikä puolestaan on reitti käyttöjännitejohdoille ja kieliryhmien kytkentäjohdoille sisään ja signaalijohdotukselle ulos symmetrinti- ja soitusmuuntajaan.

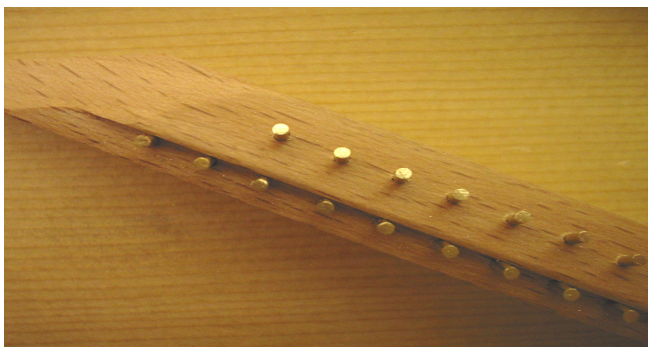
Kuva 4.5 Kotelo elektroniikalle.

## 4.4 Koskettimien viimeistelyä

Tein kosketinvarsien yläpintaan perinteiset harjakattomaiset veistokoristeet. Ne keven-  
tävät kosketinten ulkonäköä ja terävän taltan jättämä jälki suorastaan kiiltää sopivassa  
valossa. Alakoskettimien eebenpuupinnan öljysin Danish-Oil:lla. Koskettimet täytyy  
myös tasapainottaa, jotta ne palaavat lepoasentoonsa painovoimalla, ja jotta kosketus-  
tuntuma on oikeanlainen. Takapainoisista koskettimista veistin puuta varren takaosan  
alapinnasta pois ja etupainoisiin koskettimiin lisäsin lyijypainoja varren takaosaan. Tein  
säädot siten, että koskettimen painuminen alas vaatii vähintään viiden gramman painon.  
Tämä oli vain alustava arvaus. Optimaalisen soittotuntuman ja painotuksen hakeminen  
alkaa vasta kun soitin on jo muutoin valmis.

## 4.5 Kielitysvalmisteluja

Soittimen takareunaa kiertää tammipuinen lista, jossa on messinkipinnat kielten  
kiinnittämistä varten. Normaalisti soittimen kielityksen olisi voinut nyt aloittaa, mutta  
jäljellä oli vielä kaksi rakennetta tehtävänä. Ensimmäinen oli kielten sähköinen  
pareittainen rinnankytkentäjärjestelmä, joka kuvataan luvussa 3.8.5. Toiseksi jouduin  
kahden kielisillan rakenteen takia laittamaan basson kielisiltaan takapinnat, jotta kielillä  
olisi hyvä kontakti kielisiltaan (kuva 4.6). Normaalisti tämä järjestyy sopivalla sivu-



suuntaisella vedolla kielessä, mutta  
diskanttikielisillan sijainti pakotti  
pitämään kielen yleislinjan suorana.  
Kielisillan ylittäessään kieli tekee  
loivan s-kirjaimen mallisen mut-  
kan. Ratkaisu on lainattu suoraan  
pianoista.

Kuva 4.6 *Bassosillan takapinnat.*

## 4.6 Kielitys

Kun olin ensin hionut ja öljynnyt soittimen niiltä osin, jotka jäävät kielityksen alle, ja  
liimannut mikrofonitilan maadoitusmessingin paikoilleen, oli aika kielittää soitin. Kiel-  
ten sähköisen kytkennän takia jouduin seuraavaksi laittamaan pätkän kutistemuovisuk-  
kaa kielten päälle heti takasilmukasta joitakin senttimetrejä eteenpäin. Näin kielet eivät

kosketa väärää rinnankytkentälankaa tai viereistä kieltä sähköisesti. Laitoin ensin paikoilleen kieliryhmien reunimmaiset kielet, jotta sain merkittyä mikrofonien kiinnitysreiät. Reikä kulkee yhden millimetrin paksuisen messinkilevyn läpi vaahteraiseen alustaan. Tein reikiin M4-kierteet mikrofonien kiinniruuvaamista varten. Tämän jälkeen asensin loputkin kielet ja viritin soittimen summittaiseen, alustavaan vireeseen, jotta runko alkaisi heti tottua jännitteeseen.

## 4.7 Tangentit

Punotuille bassokielille käytin yhden millimetrin paksuisia valmiita messinkisiä tangenttiaihoita. Muiden tangenttien aihiona oli 38 mm leveä suikale 0,6 mm ruostumatonta terästä. Ensin hioin suikaleen pitkät sivut tasaisiksi, koska tämä pinta tulisi iskemään kieleen. Teippasin pinnan suojaan, ja tein asetteen peltileikkuriin, jolla sain napsittua toisesta päästään 5 mm levyisiä, kapenevia kiilamaisia suikaleita.

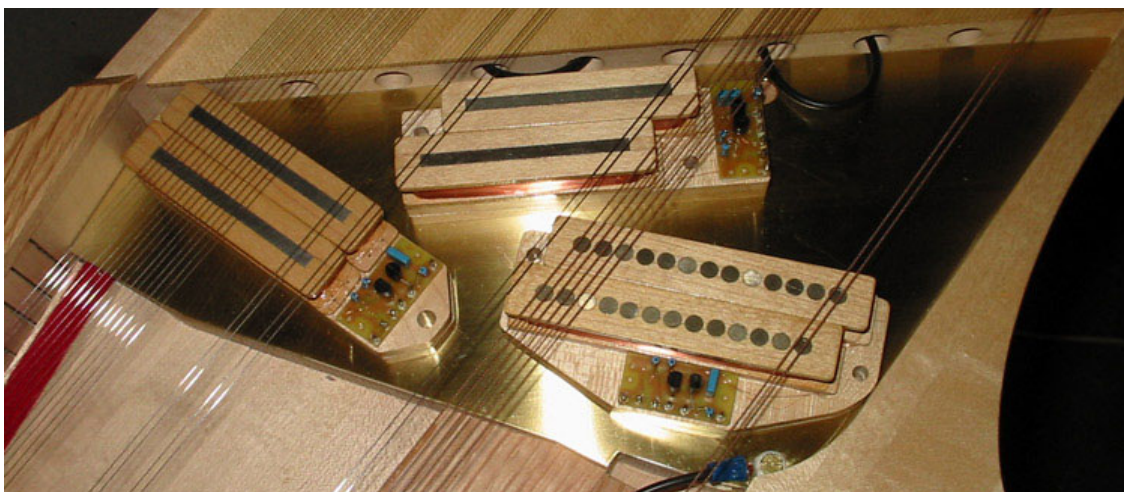
Seuraavaksi merkitsin kieliparien välistä pistepuikolla tangenttien paikat kosketinvarsiin. Merkin kohdalle painoin erikoistyökälulla kiilamaisen kapean uran, johon sitten painoin tangentin. Säädin tangentin kallistuksen sopivaksi siten, että se lyö oikeisiin kielisiin, ja että vibraattoa käytettäessä kielet eivät liiku sen yläpintaa pitkin aiheuttaen sivuääniä. Tämä tarkoittaa käytännössä hieman etukenoista asentoa, ja minulla oli kokematuuttani ensin vaikeuksia löytää oikeaa kulmaa, varsinkin kun se on erilainen bassossa ja diskantissa. Tangenttien yläpinnat säädin noin 4-5 mm päähän kielestä koskettimien ollessa lepoasennossaan.

## 4.8 Mikrofonit

Mikrofonirungot ovat vaahteraa. Sahasin pitkistä mikrofonin profiiliin mukaisiksi jyrsityistä rimoista sopivanmittaiset aihiot ja muotoilin niihin käämityksen vaatimia uria ja porasin kaksi reikää käämilangan päiden läpivienneiksi. Asensin magneetin paikoilleen ja lakkasin rungot shellakalla. Tämän jälkeen oli käämimisen vuoro. Kuva 3.8 luvussa 3.8.2 esittää alkeellista, mutta toimivaa käämintäkonettani. Jokaisen käämien pintaan sivelin vielä useita kerroksia shellakkaa käämin kiinteyttämiseksi.

Mittasin jokaisen valmistuneen mikrofonipuolikkaan käämin resistanssin ja induktanssin varmistuakseni niiden tasalaatuisuudesta ja oikosuluttomuudesta. Tämän jälkeen liimasin puolikkaat rinnatusten 6 mm paksuiselle vaahteralevyllä. Levyllä on myös tila

aktiivielektroniikkaa varten, jolle tein piirilevyt, kasasin kytkennän ja juotin komponentit paikoilleen. Tämän jälkeen koestin koko paketin vielä monokordin ja oskilloskoopin kanssa.



Kuva 4.7 Mikrofonien ja niiden kiinnitysreikien paikkojen alustava hakeminen.

Mikrofonien kiinnitys tapahtui M4-messinkiruuveilla mikrofonitilan pohjaan. Varsinaisen mikrofonipaketin ja mikrofonitilan messinkisen pohjalevyn väliin laitoin vielä puiset korotuspalat, jotka nostavat mikrofonin oikealle etäisyydelle kielestä. Erillisen korotuspalan käyttäminen oli tarpeen, koska muutoin mikrofonipaketti olisi ollut liian korkea kuljetettavaksi paikalleen koskettimiston ja kielten välisessä tilassa. Kuvassa 4.7 näkyvät mikrofonit alustaville paikoilleen suhteessa kieliryhmiin asetettuna.

Mikrofonien signaali- ja virransyöttöjohdotus kulkee elektroniikkatilasta koskettimiston keskipinnapalkin edessä mikrofonitilan vasempaan alanurkkaan. Diskantti- ja bassomikrofoneille johdotus kulkee tästä nurkasta täysin näkyvillä, koska etäisyydet ovat pienet, mutta tenorimikrofonin samoin kuin pietsomikrofonien johdotus kulkee mikrofonitilan messinkisen pohjalevyn alla olevassa kanavassa ja tulee ulos reiästä lähempänä määränpäättään tenorimikrofonin alareunan tuntumassa.

## 4.9 Muu elektroniikka

Asensin soittimen takaseinään puuruuveilla XLR-liittimet virransyöttöä ja balansoitua ulostuloa varten. Balansointimuuntaja ei mahtunut elektroniikkatilaan, joten se jäi näkyville bassokielten alkupäiden kohdalle soittimen pohjaan ruuvattuna. Tein esivahvistimen ja gate-pulssin elektroniikalle piirilevyt ja juotin komponentit paikoilleen. Osa signaalikondensaattoreista on kiinni elektroniikkatilan pohjassa ja osa kansilevyssä, joten

sinne tänne risteilevää johdotusta on kotelossa kytkennän yksinkertaisuuteen nähden paljon.

Elektroniikkatilan kansi on 3 mm:n vahvuista messinkilevyä. Sovitin sen tarkoin paikalleen. Porasin reiät potentiometrejä ja kiinnitysruuveja varten ja sahasin aukot vahvistinputkille. Hioin levyn näkyvän pinnan mahdollisimman tasaiseksi yhdensuuntaisin vedoin vesihiomapaperilla. Tein reiät elektroniputkien messinkisille suojatangoille, väänsin ne muotoonsa ja juotin butaanipolttimen avulla ne alapäin kiinni kansilevyyn. Tämän jälkeen suojasin kokonaisuuden kaksikerrosmetallilakalla.

Kun kaikki potentiometrit ja kytkimet olivat kiinni kannessa ja neljä plugiliitintä sisältävä levy myös paikoillaan, pystyin viimeistelemään elektroniikan asennuksen.

Soittimen virtalähde on ulkoinen laatikko, joka ei vaatine liiemmästi huomiota. Mainittakoon kuitenkin, että sen seinät ovat öljyttyä pähkinäpuuta ja kansilevy lakattua messinkiä. Etuseinässä on liittimet virransyöttökaapelia varten ja takaseinässä eurolitiin verkkovirrälle, sulakepesä ja kytkimet virrälle ja suojamaalle.



Kuva 4.8 *Ulkoinen virtalähde ilman kansilevyä.*

## 5 Kaikupohjan ja -kopian analysointia

Kaikupohjan muoto soittimessa on klavikordille epätyypillinen. Tällä sinänsä on tuskin mitään sen suurempaa vaikutusta kaikupohjan värähtelymoodeihin. Kaikupohja on myös melko pieni, suurimman ristimitan ollessa 40 cm ja suurimman leveyden 20 cm. Epäsymmetriset rakenteet tosin periaatteessa mahdollistavat kaikupohjan resonanssien leventymisen, mutta en mittausteni perusteella huomannut mitään epätavallista. Pieni pinta-ala sen sijaan tuottaa hyvin harvoja moodeja alle kiloherzin taajuuksilla. Tätä kompensoidakseni höyläsin kaikupohjan melko ohueksi verrattuna akustisena esikuvana olleisiin puoliakustisiin jazz-kitaroihin. Klavikordin kaikukopan perusmoodeista on olemassa hyvää perustietoa (Thwaites & Fletcher 1981). Mainitussa tutkimuksessa havaittiin, että klavikordin kaikukopan matalin värähtelymoodi on kytköksissä sen Helmholtz-resonanssiin, jonka taajuuden määrittävät kopan tilavuus ja ääniaukkojen mitat seuraavan kaavan mukaan

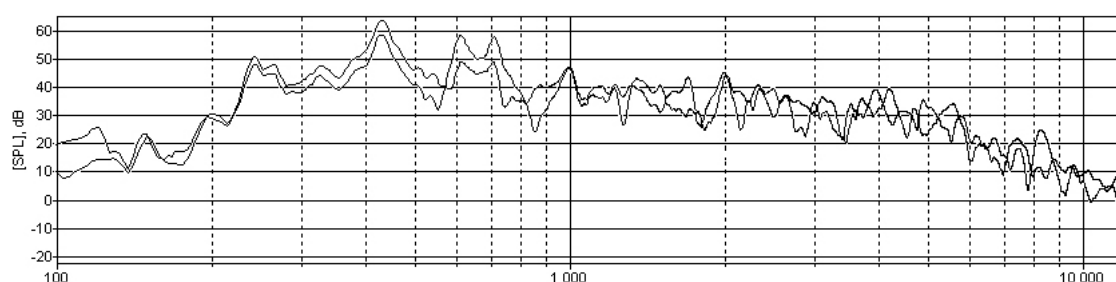
$$f = \frac{v}{2\pi} \sqrt{\frac{a}{Vl}}$$

jossa  $V$  on kopan tilavuus,  $l$  aukkojen pituus,  $a$  niiden yhteinen pinta-ala ja  $v$  äänen nopeus. Edellä mainitussa artikkelissa tutkitaan Helmholtz-resonanssin kytkeytymistä kaikupohjan värähtelyyn ja tosi akustikkojen pedanttiudella selvitetään akustisten sijaiskytkentöjen avulla sen vaikutus. Mittausteni perusteella se ei kuitenkaan ole omassa soittimessani merkittävää, tuskin havaittavaa. Raskaan massan lisääminen kaikupohjaan ei muuttanut Helmholtz-resonanssin paikkaa merkittävästi ja vastaavasti kaikukopan aukkojen koon muuntelu ei juurikaan vaikuttanut ensimmäiseen kaikupohjamoodiin, toisin kuin lisämassa. Puhun siksi jatkossa turhan monimutkaistamisen välttämiseksi Helmholtz-resonanssista ja kaikupohjamoodeista erillisinä ilmiöinä, vaikka ne eivät sitä tarkasti analysoituna olekaan.

Tein sähköklavikordin kaikukopan mittaukset yksinkertaisella impulssianalyysimenetelmällä. Impulssin tuottaminen tapahtui pudottamalla askarteluveitsen varsi kevyesti jonkin kielipinnan päähän, niin että se pompahti hallitusti ylös ja aikaansai yksittäisen impulssiherätteen. Menetelmän tulokset eivät ole diskanttivasteiden osalta täysin ideaalit. Siihen tarvittaisiin systeemi, joka myös rekisteröi impulssin todellisen muodon. Tämä yksinkertainen menetelmä antoi kuitenkin niin johdonmukaisia ja tasalaatuisia tuloksia, että ne kelpaavat seuraavaan analyysiin hyvin. Lisäksi muistin Tukholman

soitin- ja musiikkiakustiikkakonferenssissa 2003 pidetyn esitelmän viulun koppavas- teiden mittausten menetelmistä. Luennoitsija todisti ja näytti käytännössä, että herätteen todellisen muodon rekisteröivä ja sillä mittaustuloksia kompensoiva systeemi tuottaa vain hiukan tarkempia tuloksia kuin pelkkä impulssivasara, erojen näkyessä ylimmässä diskantissa.

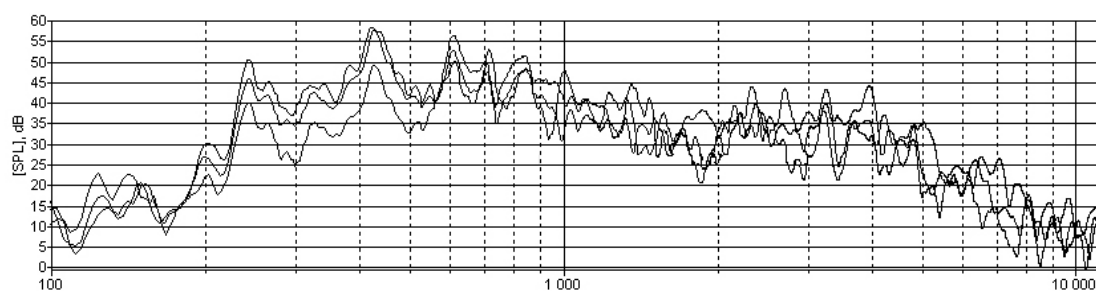
Koska tein mittaukset verstaassani, jossa on varsin kaikuisa akustiikka, sijoitin mikro- fonin (B&K 4006) vain 20 cm etäisyydelle kaikupohjasta. Koska kaikupohja toisaalta on pieni, en arvellut läheisyyden pahemmin vääristävän tuloksia.



Kuva 5.1 Bassokielisiltaherätteiden akustiset vasteet.

Kuvassa 5.1 näkyvät bassokielisillan ääripäihin kohdistettujen impulssiherätteiden tuot- tamat akustiset taajuusvasteet. Helmholtz-resonanssi on noin 150 Herzissä ja ensimmäi- nen kaikupohjamoodi, jossa koko pinta liikkuu samassa vaiheessa, noin 420 Hz. Thwaitesin ja Fletcherin soitinyksilön ensimmäiset moodit olivat 140 Hz ja 330 Hz.

Seuraavat moodit ovat 600 Hz ja 700 Hz, ja tulevat herätetyksi paremmin bassosillan bassopäästä. Korkeampia taajuuksia kohti resonanssitiheys nousee, mikä on normaalia akustisen soittimen kaikupohjalle. Yksittäisten taajuuspiikkien tutkiminen ei tuota mi- tään oleellista tietoa, koska taajuusvaste keskimäärin on varsin tasainen. Matalimpien moodien korkeampi taso mittauksissa saattaa osittain johtua hyvin lähellä olleesta mikrofonista ja korkeampien moodien vaimeus impulssintuottomenetelmästä.

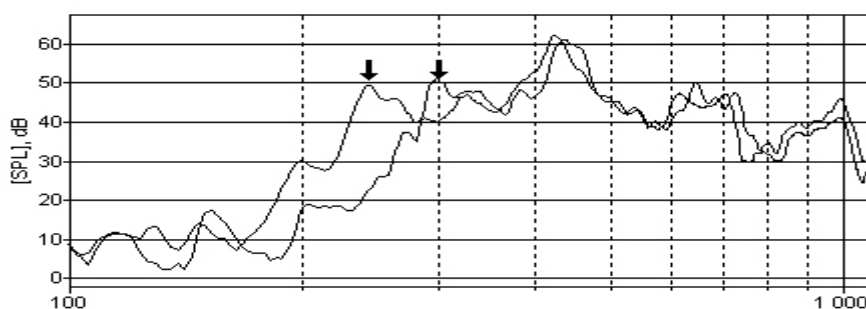


Kuva 5.2 Diskanttikielisiltaherätteiden akustiset vasteet.

Kuvassa 5.2 on sama mittaus toistettu diskanttisillalle, iskun kohdistuessa sen molempiin päihin ja keskikohtaan. Alapään ja keskikohdan vasteissa on varsin vähän eroa, eli kaikupohjan ohentaminen kielisillan alapään tienoilta ja avarruksien teko kaikupohjan kiinnityslistoihin näyttäisi toimivan. Ylin mittauspiste ei herätä alimpia moodeja läheskään yhtä voimakkaasti, mikä tarkoituksenmukaista, onhan ylimmän kielen matalimman osasävelen taajuus noin 1000 Hz.

## 5.1 Helmholtz-resonanssin siirto

Koska matalimpien resonanssien väliin näytti jäävän kovin laaja kaista, jolla kaikupohja tai sen ilmatila ei juuri resonoinut, niin ajattelin siirtää Helmholtz-resonanssin hiukan ylemmäs. Tein soittimen pohjaan muutaman neliösenttimetrin kokoisen lisäreiän, jolla pyrin nostamaan moodia. Kuvasta 5.3 näkyy, minkälainen vaikutus toimenpiteellä oli. Ilmatilan resonanssi nousi noin 200 herziin. Sen sijaan muihin resonansseihin vaikutus oli melko pieni, mikä vain kertoo siitä, miten heikko kaikupohjan ja ilmatilan välinen vuorovaikutus loppujen lopuksi tässä soittimessa on.



Kuva 5.3 Helmholtz-resonanssin muokkaus.

Mainittakoon, että tässä vaiheessa soittimessa ei ollut kielitystä asennettuna, ja tarkoitus ei ollut hienosäätää sointia, vaan tutkia kaikukopan käytöstä. Kielityksen lisääminen soittimeen vaikuttaa toki aina sen kaikukopan käytökseen, mutta klavikordissa kielten aiheuttamat voimat ja massanlisäykset kaikupohjaan ovat niin pieniä, että mittauksia voi pitää huoletta vähintäänkin suuntaa-antavina.

Kaikupohjan ominaisuuksien vaikutus sähköklavikordin akustiseen ja sähköiseen äänenlaatuun lienee hyvin erityyppinen. Soittimen akustinen ääni ei mittausten perusteella voi sisältää juuri lainkaan alle 150 herzin taajuuksia, ja alle kiloherzin vaste on hyvin epätasainen, koska alueella 150–1000 Hz ei ole kovin montaa moodia kaikupohjan

pienen koon takia. Kaikupohjasta tuli kenties hieman liiankin soiva alkuperäiseen ajatteluuni nähden, sillä sähköklavikordin akustinen sointi on melko lähellä pienen akustisen klavikordin sointia, eikä ero niiden välillä ole samansuuruinen kuin akustisen ja puoliakustisen jazz-kitaran välillä.

Sähköisen äänen kannalta on oleellista, että kielet ovat vuorovaikutuksessa toisiinsa kaikupohjan ja kielisiltojen kautta. Tästä kerron enemmän luvussa 7. Akustisen kierron herkkyyteen vaikuttavat kaikukopan pinta-ala, joka on siis soittimessani pieni, sekä sen jäykkyys ja massa. Periaatteessa mikä tahansa sähköakustinen soitin on sitä kiertoherkempi, mitä enemmän akustista ääntä se tuottaa kielten värähtelystä, koska sama pätee toiseen suuntaan, eli äänen värähtelyt siirtyvät ilmasta soittimen runkoon ja kieliin ja sitä kautta mikrofoneihin. Erityisesti yksittäisiä voimakkaita resonansseja soittimessa pitäisi pystyä välttämään.

## 6 Sähköklavikordin soinnin ja soitettavuuden arviointia

### 6.1 Soinnin alustavaa subjektiivista arviointia

Ensimmäiset arviot soittimen ominaisuuksista tein verstaallani. Kuuntelin akustista ääntä sellaisenaan, ja sähköistä ääntä suoraan soittimeen kytketyillä hyvälaatuisilla kuulokkeilla.

Akustinen ääni osoittautui yllättävänkin hyväksi. Pienen kaikupohjan harvat alempien alueiden moodit tekivät äänestä keskialuepainotteisen ja pieni säteilevä pinta-ala hiljaisen. Kaikesta huolimatta soittimella voi aivan hyvin harjoitella soittamista sähköttäkin, jopa nauttia siitä. Se ei silti ymmärrettävästi pärjää akustisen säteilyn määrässä tai laadussa normaalille klavikordille.

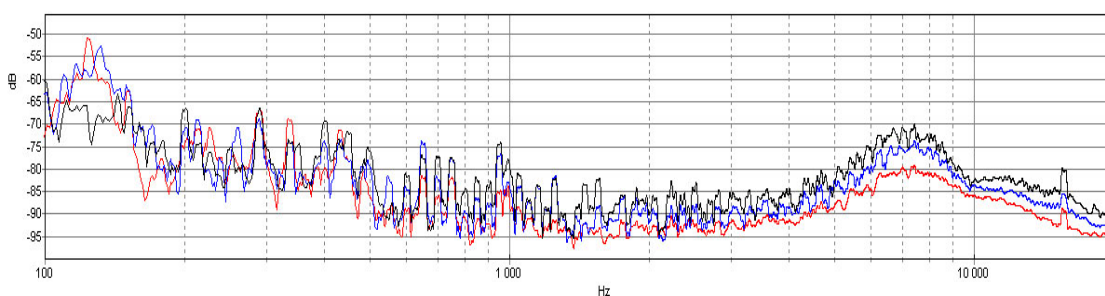
Mikrofonien ääni sellaisenaan, ilman taajuuskorjailuja tai efektejä, antoi myös positii-visen ensivaikutelman. Ääni oli selkeä, puhdas ja mekaaniset sivuäänit olivat riittävän hiljaisia. Bassoalueen ääni oli aivan liian bassovoittoinen. Sointi meni tunkkaiseksi ja raskaaksi alimpia ääniä kohti. Tilanteen korjaamiseksi laitoin signaalitielelle ennen putki-vahvistinta ensimmäisen asteen ylipäästösuotimen 160 herziin, ja putkiasteiden väliin toisen asteen suotimen 65 herziin. Ylempi suodin keventää bassoja ja alempi torjuu bassokielten matalaa häiritsevää jälkisointia, muttei kajoa toivottuihin taajuuksiin. Soit-timen matalimman äänen eli suuren C:n perustaajuushan on 65,7 Hz.

Tämän taajuuskorjailun jälkeen soitin toimi jo niin hyvin, että jäljellä olevien pienten parannuksien ja säätöjen tekeminen alkoi hidastua, kun asetuin mieluummin soittimen ääreen improvisoimaan. Siitäkin oli hyötyä, koska kesti oman aikansa tajuta, mikä soit-timen ominaisuuksissa oli arvokasta tai uutta tai vaati parantelua. Keksin myös kaksi uutta käyttökelpoista soittotekniikkaa, jotka ovat periaatteessa olemassa akustisessakin klavikordissa, mutta jäävät sen hiljaisuuden takia käyttökelvottomiksi. Näihin palaan lu-vuissa 6.8.2 ja 6.8.3.

## 6.2 Keskeiset ongelmat

### 6.2.1 Sähkömagneettiset häiriöt

Kun otin käyttöön herkät ja erottelevat kuulokkeet aloin huomata, mitkä asiat vaativat korjaamista. Huolimatta joka toisen kielen maadoituksesta ja mikrofonitilan pohjan messinkilevystä mikrofonit kaappasivat jostain sähkömagneettisten kenttien tuottamia häiriöitä. Häiriö oli heikkoa sirinää, joka jo viittasi siihen, että sen aiheuttaja ei ollut magneettikenttä.<sup>12</sup> Magneettisten häiriöiden torjumiseksihan soittimessa on humbucker -tyyppiset mikrofonit. Varmistin asian peittämällä mikrofonitilan kielineen isolla alumiinilevyllä. Häiriöt katosivat kokonaan. Soittimeen täytyi siis rakentaa suoja mikrofonitilan päälle. En ollut ottanut tätä suunnitteluvaiheessa huomioon, mutta onneksi sen toteuttaminen ei aiheuttanut suurempaa päänvaivaa. Tein suojan ulkonäön yhtenevyyden vuoksi messinkilevystä.



Kuva 6.1 Häiriöiden spektrit eri suojauksilla.

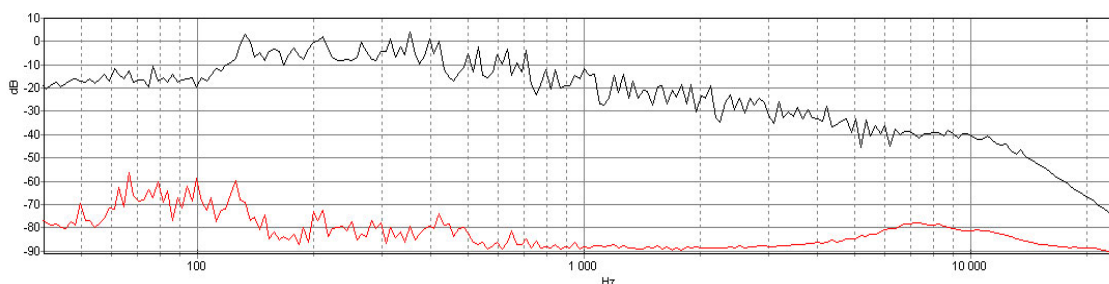
Verstaallani edellä kuvattu messinkisuoja riitti poistamaan kaikki häiriöt. Sitä ei tarvinnut edes maadoittaa. Kun toin soittimen kotiini pahempien sähkömagneettisten kenttien keskelle, messinkisuoja ei riittänyt poistamaan häiriöitä edes maadoitettuna. Huomasin että häiriöt vähenivät lähes kuulumattomiin, kun maadoitin lisäksi kaikki kielet. Koska joka toisen kielen kuitenkin on tarkoitus ”kellua” sähköisesti irti maasta, jotta niiden potentiaalista voidaan johtaa gate-pulssi, niin ratkaisin asian kytkemällä 4,7 nF kondensaattorin kieliryhmästä maahan. Tämä arvo tuntui olevan riittävän iso oikosulkeakseen korkeataajuiset häiriöt maahan, mutta kuitenkin niin pieni, että gate-pulssin laskuaika ei hidastuisi liikaa. Kuvassa 6.1 on soittimen häiriövasteet kolmella eri konfiguraatiolla.

---

<sup>12</sup> Magneettiset häiriökentät ovat sähkömagneettisten kenttien luonteesta johtuen spektriltään mataliin taajuuksiin painottuvia. Kuulokuva on tällöin enemmänkin hurinaa tai surinaa.

Alin käyrästä on mitattu kaikkien keinojen ollessa käytössä. Seuraavan käyrän noin viisi dB korkeampi taso on mitattu ilman toisen kieliryhmän maadoittavaa kondensaattoria ja ylin käyrä esittää tilanteen ilman suojalevyä.

Häiriöiden yleinen taajuusjakauma on varsin suosiollinen, koska korvan herkin taajuusalue, noin 3–5 kHz, on melko häiriötön. Noin seitsemän kHz tuntumassa oleva laaja korostuma on lähinnä resistiivistä kohinaa mikrofoneista. Koska mikrofoneilla on ominaisresonanssinsa tällä alueella ja niiden impedanssi on tällöin siis suurimmillaan, myös kohina kasvaa seuraavassa vahvistinasteessa. Noin 16 kHz tuntumassa oleva yksittäinen piikki jäi arvoitukseksi, eikä sitä näkynyt myöhemmissä mittauksissa. Alemmilla taajuusalueilla näkyy erillisiä taajuuspiikkejä, mikä kertoo siitä, että osa sähkömagneettisista häiriöistä jää vaimentumatta. Subjekttiivinen vaikutelma soittimesta on kuitenkin varsin hiljainen. Kuvassa 6.2 on analysoitu noin viiden sekunnin jakso pohjakohinaa ja saman pituinen jakso äänitystä Bachin c-mollipreludista Das Wolthtemperierte Clavier I:stä. Musiikkikatkelma on soitettu melko kovalla volyymilla, joten kuvaajasta voi tulkitta soittimen maksimaalisen signaali-kohina-suhteen. Taajuusalueella 200–2000 Hz se on noin 70 dB, mitä voi pitää erinomaisena tuloksena.



Kuva 6.2 *Spektrianalyysi pohjakohinasta ja katkelmasta soittoa.*

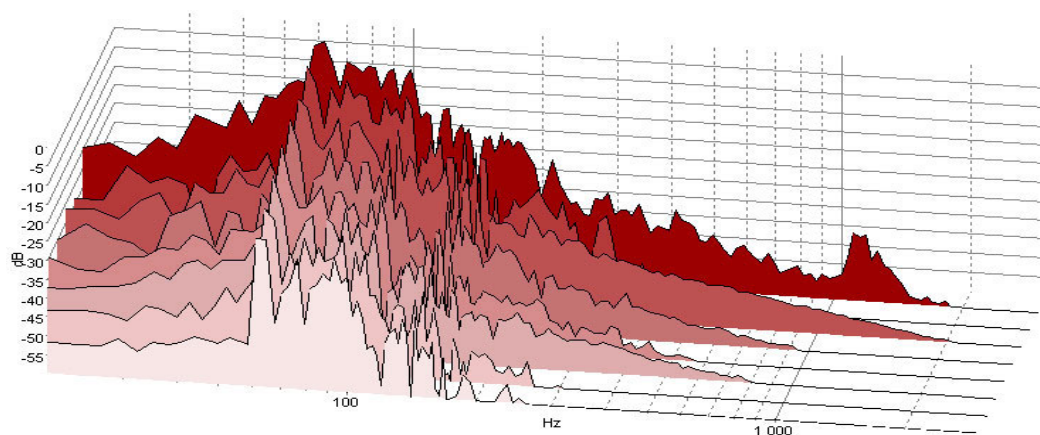
## 6.2.2 Kielten vaimennuksen puutteet

Klavikordin kielten vaimennusperiaate on yksinkertainen ja toimii hyvin alimpia ääniä lukuun ottamatta. Perinteisesti vaimenninpunoselle jäävä tila vain pienenee kohti bassoa, vaikka sen päinvastoin pitäisi kasvaa suhteessa kielten pituuteen. Kielen pituuteen nähden lyhyt punosalue ei pysy absorboimaan matalimpia osasäveliä tehokkaasti, ja ne jäävät humisemaan koskettimen noston jälkeen. Tämä ei ole akustisissa klavikordeissa kovin suuri ongelma, koska kaikupohja ei kuitenkaan pysty säteilemään matalia taajuuksia. Sähköisesti vahvistetussa soittimessa kuitenkin ongelma korostuu, koska koko taajuusalue tulee kuultavaksi. Lisäksi vaimenninhuopapunos välitti impulseja tenori-

alueen kielistä bassoalueelle, eli vaikka soittimella olisi soittanut vain tenorirekisterissä, niin taustalla kuului koko ajan heikkoa jyskyttävää sivuääntä. Tämän päätin ratkaista vaimenninalueen päälle sijoitettavalla tammilevyllä, jonka alapintaan tulisi huopakerros, joka vuorostaan kevyesti painuisi vaimenninaluetta vasten. Tämän päättelin estävän ainakin kielten keskinäisen vuorovaikutuksen.

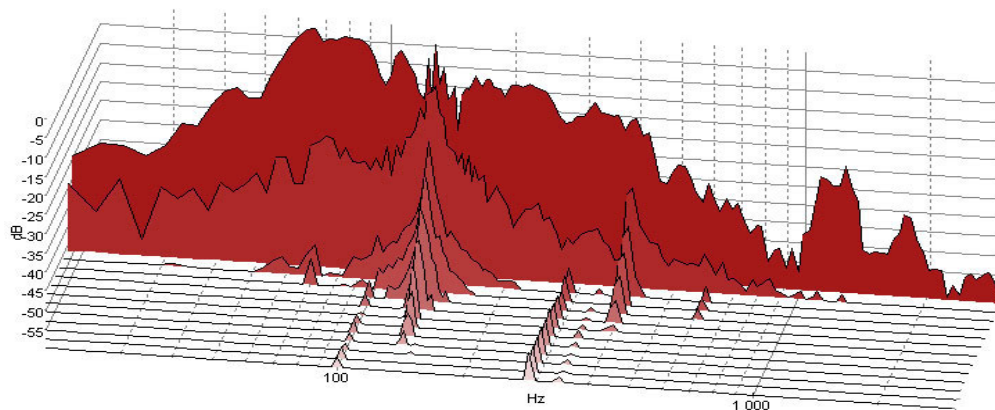
Ensimmäinen versio tästä levystä toi enemmän ongelmia kuin ratkaisi. Koska levy oli joustava, niin impulssien välittymistä kieliryhmien välillä se ei vähentänyt, pikemminkin päin vastoin. Alimpien kielten vaimennusta levy sen sijaan paransi huomattavasti, joten päätin rajata sen ainoastaan alimpaan oktaaviin.

Bassokielten vaimennus ei valitettavasti edelleenkään ollut kovin hyvä, ja soittimesta kuului matalia jymähdyksiä diskanttiakin soitettaessa. Ensin epäilin tämän johtuvan rungon resonansseista, koska pohjaa kopauttamalla sain aikaiseksi samanlaisia jymäyksiä, mutta pari mittausta ja helppo koe paljastivat mistä oli kysymys. Kuvassa 6.3 on vesiputouskäyrästä, joka esittää eri taajuuksien jakauman ja vaimentumisen 2,4 sekunnin aikana pohjaan kohdistetun pehmeän iskun jälkeen. 60–100 Hz alueella on paljon värähtelyjä, jotka vaimenevat hitaasti. Mainittakoon tässä, että kaikki mittaukset on tehty soittimen sähköisestä signaalista ellei toisin mainita.



Kuva 6.3 Bassohäiriöiden vaimentuminen. Taajuus  $x$ -akselilla, aika (0–2,4 s)  $z$ -akselilla.

Seuraavaksi asetin villasukan bassokielten päälle niiden keskivaiheille ja toistin mittauksen. Kuvassa 6.4 näkyy tulos. Jälkivärähtelyt ovat huomattavan vähäiset. Jäljellä on vain yksi selvä resonanssi, joka saattaisi hyvinkin olla rungon ensimmäinen pituussuuntainen taivutusmoodi. Ongelma oli siis alimpien bassokielten ensimmäisten osasävelien jälkisointi, johon lyhyt vaimenninpunos ei pystynyt pureutumaan.



Kuva 6.4 Jälkivärähtelyt kielten vaimentamisen jälkeen (0–2,4 s)

Pohja on kuitenkin osasyylinen siihen, että diskanttiääniä soittaessa kuvattua jylinää pääsee syntymään. Kun kosketin painetaan alas, kohdistuu siitä voima keskipinnapalkkiin ja siitä pohjaan. Pohja välittää impulssin koko soittimeen, mikä saa bassokielet värähtelemään. Yksi ratkaisu ongelmaan olisi siis pohjan massan ja jäykkyyden huomattava kasvattaminen. Kenties seuraavassa soittimessa käytänkin paksumpaa pohjaa, jos priorisoin häiriöttömyyden kannettavuuden edelle.

Toinen ratkaisu olisi bassokielten vaimennuksen parantaminen. Vaimenninpuosaluetta tulisi pidentää ainakin kaksinkertaiseksi nykyisestä, mikä merkitsisi soittimen pituuden kasvattamista kymmenellä senttimetrillä. Tämän ratkaisun varjopuolena olisi kosketuksen liiallinen joustavuus bassoalueella ja soittimen ulkomittojen kasvu.

Kolmas ratkaisu olisi yksinkertaisesti suodattaa kaikki alle sadan herzin taajuudet pois esivahvistimessa, tai ainakin etsiä kompromissi bassosoinnin muhkeuden ja sivuäänten voimakkuuden välille.

### 6.2.3 Magneettimikrofonien puutteista

Aiemmin on selostettu, miksi humbucking-tyyppinen mikrofoni on sähköklavikordissa pakollinen. Kokeilun vuoksi kytkin kaikki mikrofonit yksikelaisiksi.<sup>13</sup> Diskanttipään sointi muuttui yllättävän vähän, eroa tuskin huomasi, paitsi tietysti hurinan lisääntymisestä. Tenorirekisterissä muutos oli jo selvempi, ja bassossa huomattava. Mikrofoni yksikelaisena sointi oli juuri sitä, mitä olin kaivannutkin, sähkö ja ”funky”, mutta

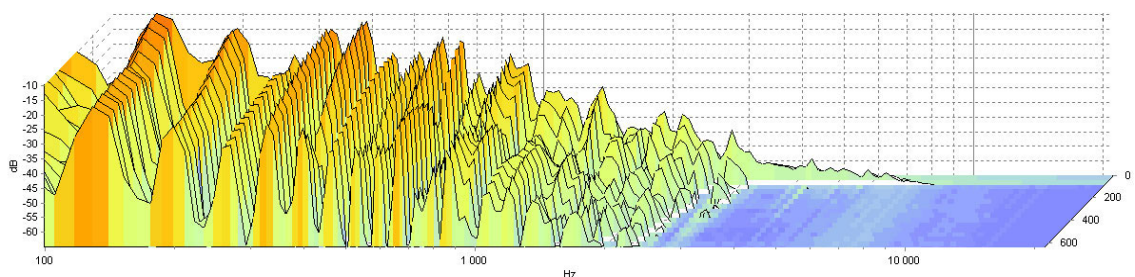
---

<sup>13</sup> Tämä onnistui helposti, koska mikrofonipaketissa olevan etuvahvistimen juotosnastat mahdollistivat toisen käämin ohittamisen kytkemällä hyppylanka kahden nastan väliin

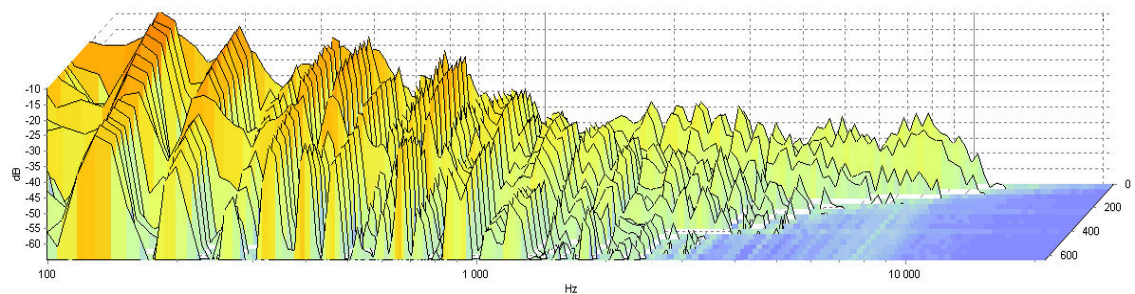
tietenkin hurinainen. Olin jo aiemmin otaksunut näin käyvän, koska kielten lyhyestä mensuurista johtuen tietyn taajuusalueen osasävelten aallonpituus bassokielissä on paljon lyhyempi kuin diskanttikielissä. Siksi tietyllä kielen matkalla värähtelyjä keskiarvoistava humbucker-mikrofoni ei saa bassokielistä talteen yhtä korkeita taajuuksia kuin diskanttikielistä.

Seuraava lasku selventää asiaa: Sähköklavikordin korkeimman äänen perustaajuus on 1051 Hz ja kielen pituus 160 mm. Tällöin aaltoliikkeen nopeus kielessä on  $2 * 160 \text{ mm} * 1051 \text{ Hz} = 336403 \text{ mm/s}$ . Oletetaan mikrofonin keskiarvoistavan kielen liikettä 30 mm:n matkalta. Tällöin korkeimmalla sen tehokkaasti poimimalla taajuudella on 60 mm:n aallonpituus.  $336403 \text{ mm/s}$  jaettuna 60 mm:llä on 5606 herziä. Käytännössä siis jo kuudes osasävel (6306 Hz) voi olla hieman vaimentunut, mikä tuntuu yhtäpitävältä subjektiivisen vaikutelman (ja myöhempien mittausten) kanssa.

Alimman äänen taajuus on 65,7 Hz ja kielen pituus 1000 mm. Tällöin aaltoliikkeen nopeus on 131400 mm/s ja korkein tehokkaasti poimittu taajuus 2190 Hz. Ei siis ole paljon toivoa saada alimmista kielistä kovin kirkasta sointia kyseisellä mikrofoniratkaisulla. Kuvat 6.5 ja 6.6 selventävät tilannetta teoreettisen pohdinnan kanssa yhtäpitävästi. Alimmasta C:stä otettu lyhyt (650 ms) vesiputouskäyrästä näyttää, että yksikelainen konstruktio poimii merkittävästi enemmän osasäveliä 2000 herzin yläpuolella.



Kuva 6.5 *Suuren C:n vesiputouskäyrästä (0–650ms) (humbucker).*



Kuva 6.6 *Suuren C:n vesiputouskäyrästä (0–650ms) (yksikelainen toiminta).*

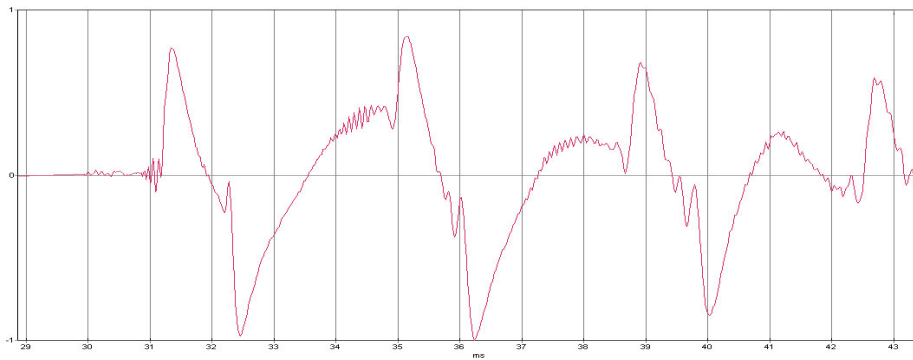
Seuraavilla tavoilla voisi yrittää saada bassoon kirkkaamman soinnin: ensinnäkin mikrofonin rakenteessa on vielä kaventamisen varaa, kenties n. 25%. Tämä auttaisi jo vähän. Toisaalta on olemassa kokonaan toinen koota tehdä humbucker-mikrofoni. Kelat sijoitetaan *päällekkäin*, jolloin ainoastaan ylempi kela sieppaa kielen värähtelyjä ja alempi kela on hurinan kumoamista varten. Ratkaisu on kokeilemisen arvoinen, mutta vaatii hiukan lisäsuunnittelua, jotta kaksi kelaa saadaan päällekkäin niille varattuun tilaan. Kenties olisi myös mahdollista tehdä bassomikrofonista kaksiosainen. Toinen kela sijoitettaisiin lähelle tallaa, mutta muuten kytkennät säilyisivät. Hurinanpoisto ei ehkä toimisi aivan yhtä hyvin, kun keloilla olisi fyysistä etäisyyttä toisiinsa, mutta ratkaisua on käytetty sähkökitaroissa ja se toimii kohtuullisen hyvin.

### 6.3 Muita soinnin piirteitä

Koskettimiston ja tangenttien häiriöääniä kuuluu yllättävän vähän. Laajaa äänen venytystä tehdessä saattaa kieli liukua pitkin tangentin pintaa ja tuottaa hälyääniä. Tämä ongelma on poistettavissa etsimällä tangentille juuri oikea paikka siten, että kielillä ei ole taipumusta liukua sivusuunnassa. Tangentin päätä joutuu myös välillä hiomaan hienolla hiekkapaperilla kielten jättämien kolojen poistamiseksi. Tangentin yläpinnan tasoisuus on muutenkin tärkeää puhtaan äänen tuottamiseksi. Venytystä tehdessä vaimenninhuopapunos saattaa hieman rahista viereisten kielten kanssa, jos punos ei ole tarpeeksi tiukka. Ongelman saa hallintaan punosta tiukentamalla.

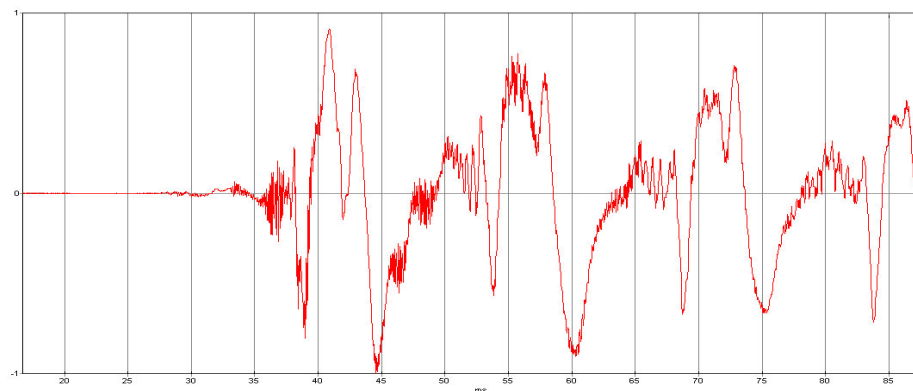
#### 6.3.1 Äänen aluke

Sähköklavikordin äänen aluke on varsin nopea. Joissain tilanteissa suurta vahvistusta käytettäessä se voi tuntua jopa hieman väkivaltaiselta. Tämä on ominaisuus, jolle ei sinänsä ole tehtävissä mitään, mutta kun soittimen ääneen lisää hiukan kaikua, niin alukkeet pyöristyvät mukavasti. Alukkeen aaltomuoto sinänsä ei sisällä minkäänlaista korostumaa. Kuvassa 6.7 on keski-c:n alukkeen aaltomuoto. Merkillepantavaa on lyhyen, korkeataajuisen transientin saapuminen mikrofonin kohdalle ennen varsinaista laajempaa kielen paikan muutosta, joka vastaa tangentin lähettämän kulkuaallon muotoa mielestäni hyvin. Eri voimakkuuksilla soitetun äänen alukkeissa ei ollut mitään graafisesti havaittavaa eroa. Esitransientti on suhteessa aina yhtä voimakas ja pitkä soittovoimakkuudesta riippumatta.



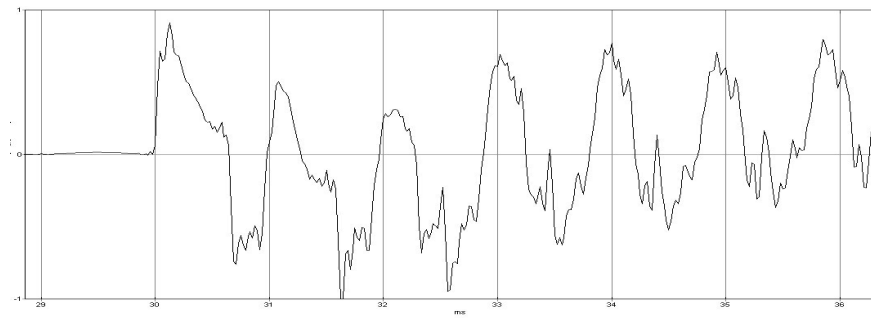
Kuva 6.7 *Keski-c:n alukkeen aaltomuoto.*

Tämän jonkinlaisen esitransientin syntymekanismi on toistaiseksi jäänyt minulle arvoituksiksi. En usko, että tangentin aiheuttama kielen pystysuuntainen poikkeutus voisi vastata kuvan aaltomuotoa. Mitä matalammasta äänestä on kysymys, sitä pidempi esitransienttikin on. Yksi mahdollinen selitys olisi pitkittäisen aaltoliikkeen eteneminen (raudassa 5100 m/s) huomattavasti poikittaista nopeammin. Tangentista lähtevä pitkittäinen aaltoliike kielen sydämessä olisi teoriassa ala-C:n tapauksessa mikrofonin kohdalla 5,2 millisekuntia poikittaista aaltoa ennemmin perillä. Kuvassa 6.8 näkyy ala-C:n alukkeen aaltomuoto. Voimakas, korkeataajuinen purske on yli viiden millisekunnin mittainen, ja on sen takia kuulokuvan kannalta todennäköisesti merkittävä.



Kuva 6.8 *Suuren C:n alukkeen aaltomuoto.*

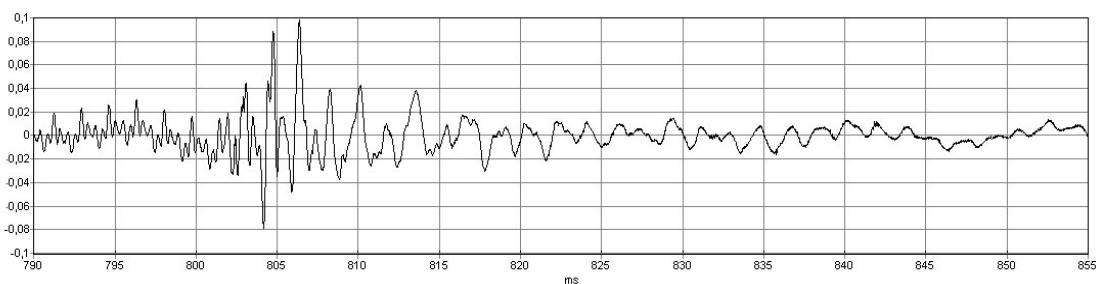
Korkeimman c:n alukkeen aaltomuoto näkyy kuvassa 6.9. Huomattavaa on esitransientin lähes täydellinen puuttuminen ja aaltoliikkeessä näkyvä notkahdus, joka johtunee siitä, että koskettimen liike on jatkunut hetken alukkeen jälkeen ja kielipari on etääntynyt mikrofonista ja palannut sitten taas paikalleen. Mielestäni alukkeen muoto vastaa hyvin sitä, mitä yksinkertainen malli tangentin lähettämästä kulkuaallosta ennustaisi.



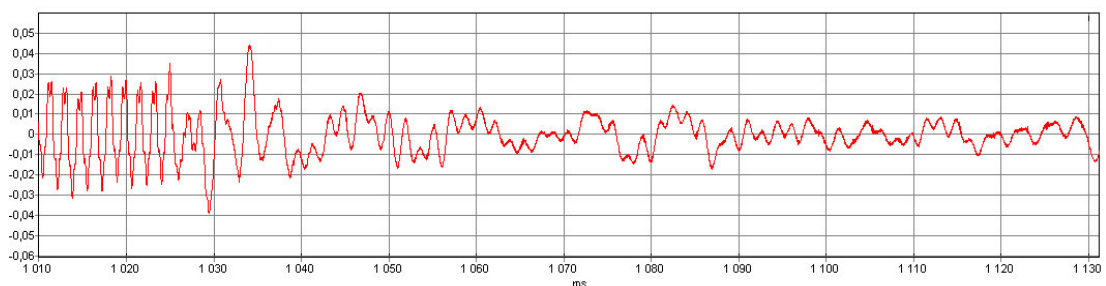
Kuva 6.9 Kolmiviivaisen *c:n* alukkeen aaltomuoto

### 6.3.2 Äänten lopukkeet

Subjekttiivinen kuulokuva äänten lopukkeista sisältää usein jonkinlaisen lopputransientin, joka on yllättävänkin erilainen eri äänillä. Erot voivat kenties johtua tangentin yläpinnan hienosäädöistä, mutta erot tuntuivat sen verran sattumanvaraisilta, että en tätäkään ilmiötä osaa toistaiseksi selittää. Jos koskettimen nostaa hyvin hitaasti, niin toisen kielen ollessa vielä kiinni tangentissa ja toisen jo irrotessa kuuluu äänessä voimakkaita sirinöitä ja muita epätoivottavia sivuääniä. Useimpien äänten lopussa kuuluu jokin pieni tai suurempi häiriöääni, vaikka koskettimen nostaisi kuinka nopeasti. Kuvassa 6.10 yksiviivaisen *d:n* kosketin nostetaan kohdassa 802 ms. Seurauksena on voimakas häiriö, jota seuraa vaimeneva, spektriltään alempiin taajuuksiin painottuva häntä. Häiriö on lyhykestoinen, mutta selvästi kuuluva.

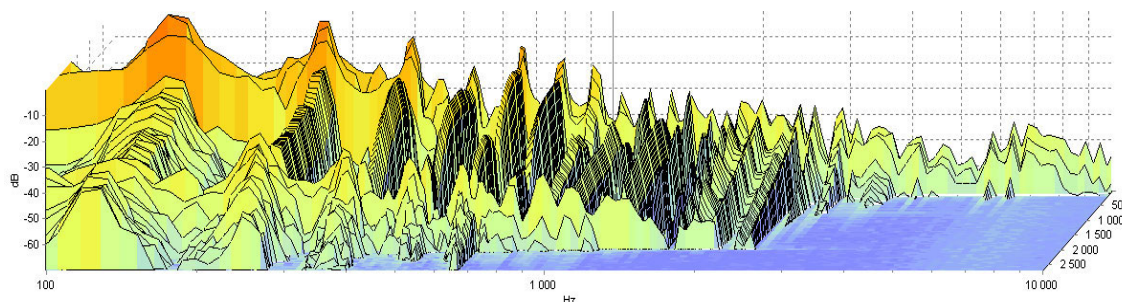


Kuva 6.10 Yksiviivaisen *d:n* lopukkeen aaltomuoto.



Kuva 6.11 Yksiviivaisen *d:n* lopukkeen aaltomuoto toisen kielistä ollessa vaimennettuna.

Koska epäilin, että yhtäkkinen energian lisäys voisi johtua kielten vastavaiheisuuden purkautumisesta tai ensin irrottavan kielen antamasta lisäimpulssista toiselle vielä tangentissa kiinni olevalle kielelle, suoritin kokeen toinen kielistä vaimennettuna. Kuvasta 6.11 näkyy, että parikielityksellä on sormensa pelissä tässäkin ilmiössä. Vain yhden kielen soidessa lopuke on huomattavasti siistimpi kuin kahden kielen lopuke.



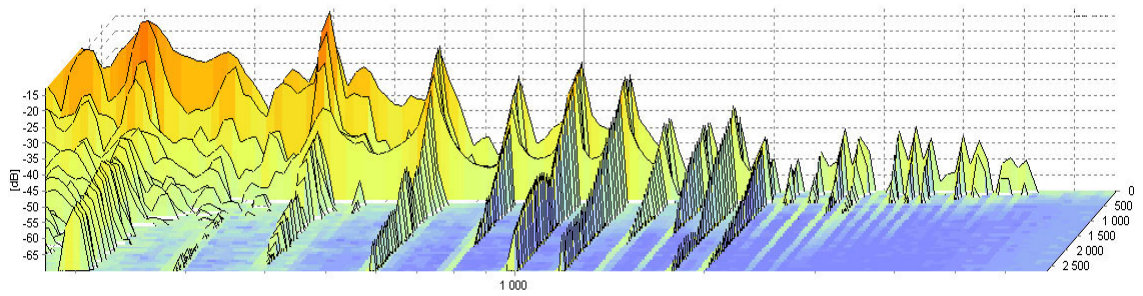
Kuva 6.12 Pienen c:n vesiputouskäyrästä (0–2700 ms). (koskettimen nosto kohdassa 1980 ms).

Kuvasta 6.12 on havainnollisesti nähtävissä kuinka 1980 ms:n kohdalla tapahtuvan koskettimen noston ja häiriötransientin jälkeen korkeat osasävelet vaimenevat nopeasti, mutta alemmilla on jonkin verran jälkisointia.

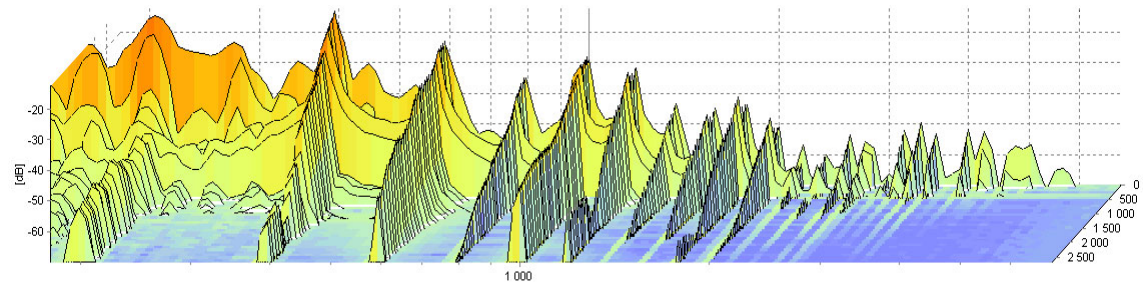
## 6.4 Kaikupohjan ja kaksoiskielityksen vaikutus sointiin

Soittimen puoliakustisuus tuntuu olleen hyvä ratkaisu. On helppo kuulla, että kielet voivat siirtää energiaa toisiinsa kielisiltojen kautta. Jos esim. pitää jotain sointua alhaalla vasemmalla kädellä ja soittaa jonkin skaalan oikealla, niin soinnun kielet jäävät värähtelemään kauniin kaikuvasti. Tämä efekti on tuttu pianosta, mutta jää akustisessa klavikordissa helposti huomaamatta sen hiljaisuuden takia. Toisaalta kielisillan liikkuvapaus vaikuttaa yksittäisenkin äänen rakenteeseen kieliparin pystyessä vaikuttamaan toisiinsa.

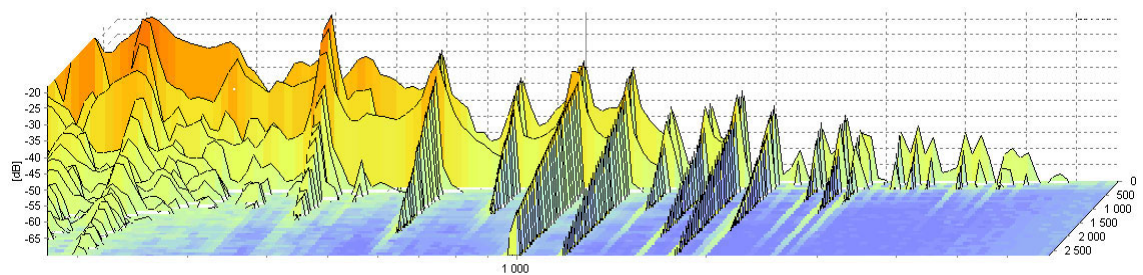
Puoliakustisen soittimen sointi on puhuttelevampi ja monipuolisempi kuin lankkumallisen kokeilusoittimeni. Kaikupohjan ominaisuudet vaikuttavat osasävelten erilaisiin vaimenemisnopeuksiin, ja soinnissa on formantteja, jotka tekevät soinnista kiinnostavan. Se missä määrin kaikupohjan moodit ja vaihteleva impedanssi vaikuttavat sähköisen äänen spektriin vaatisi perusteellisempaa tutkimusta, jossa pitäisi sulkea pois tangentin ja mikrofonisijoittelun vaikutus. Vesiputouskäyrästä kuitenkin näkyy, että osasävelten suhteellisissa vaimenemisajoissa on suuria eroja.



Kuva 6.13 Pienen g:n vesiputouskäyrästä (0–2600 ms).



Kuva 6.14 Pienen g:n vesiputouskäyrästä (0–2600 ms) kaikupohja jäykistettynä.



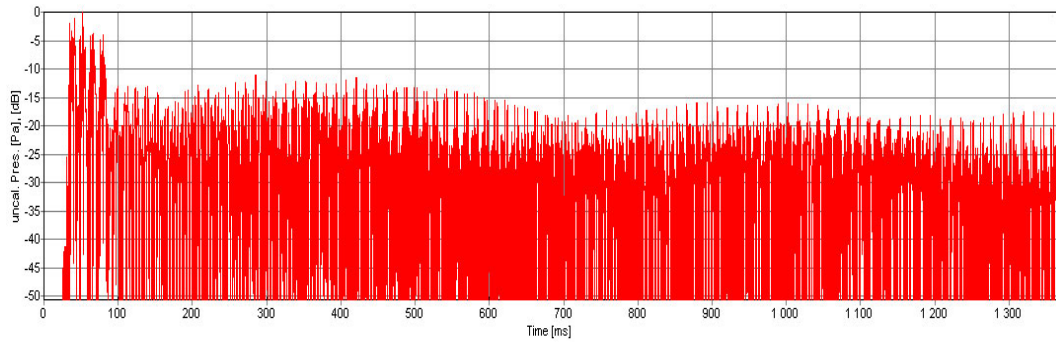
Kuva 6.15 Pienen g:n vesiputouskäyrästä (0–2600 ms) toinen kieli vaimennettuna.

Yllä olevasta kuvasarjasta nähdään kaikupohjan ja kaksoiskielityksen vaikutus sointiin. Kuva 6.13 on analyysi normaalisti toimivalla soittimella soitetusta g-äänestä. Kuvasta voi havaita, että ensimmäisen, toisen ja kolmannen osasävelen vaimeneminen on aluksi nopeampaa ja hidastuu noin sekunnin paikkeilla. Lisäksi osasävelten tason kehityksessä on jopa ajoittaisia voimistumisia, jotka johtuvat kielten vaihesuhteiden muuttumisista. Pari- tai kolmoiskielitettyjen soittimien äänen rakennetta on analysoitu jo pitkään, ja on havaittu, että kyseisillä soittimilla on taipumus muodostaa kaksiportainen verhokäyrä, koska kielet värähtelevät aluksi samassa vaiheessa ja energian siirtyminen kaikupohjaan on nopeaa, mutta kielisillan kautta tapahtuva kielten vuorovaikutus ajaa ne osittain vastavaiheeseen ja energian siirtyminen siltaan hidastuu (Weinreich 1979). Kuva 6.13 paljastaa myös sen, että eri osasävelillä on huomattavan erilaiset vaimenemisnopeudet.

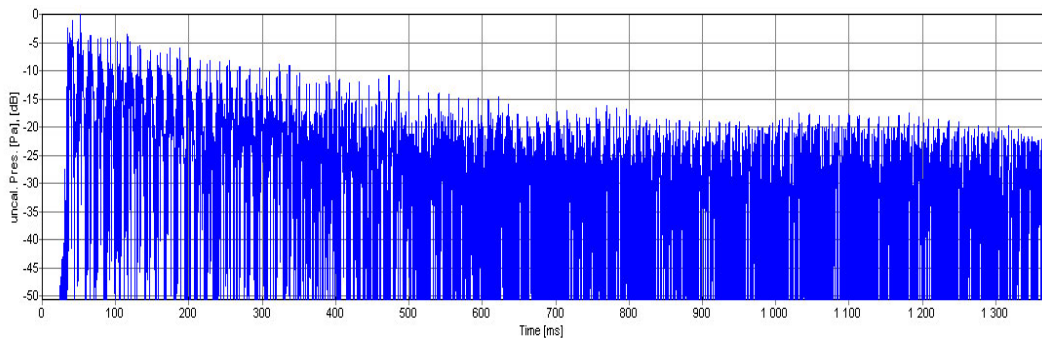
Kaikupohjan värähtelymoodit ja niistä seuraava admittanssin vaihtelu eri taajuuksilla on varmasti yksi, vaikkei välttämättä ainoa syy asiaan. Kaikkein korkeimmat osasävelet vaimenevat nopeasti kielen sisäisten häviöiden takia.

Kuvassa 6.14 on esitetty tilanne, jossa kielisillan päälle on asetettu noin kahden kilogramman paino. Se käytännössä kuolettaa kaikupohjan ja pidentää sointia huomattavasti. Kuitenkin kuvasta näkyy täsmälleen sama tendenssi äänen vaimenemisnopeuden muutoksessa kuin normaalitilanteessakin. Kielen toinen terminointipiste on tangenti, joka on kaikkea muuta kuin jäykkä ja massiivinen terminointi, ja kielet pääsevät vaikuttamaan toisiinsa sen kautta ja sama osittainen vastavaiheeseen ajautuminen tapahtuu tässäkin tilanteessa. Koe osoittaa myös sen, että tangentiin ja kosketinvarteen absorboituu huomattavasti energiaa. Tämä havainto on ristiriidassa Thwaitesin ja Fletcherin laskelmien kanssa. Heidän laskelmansa eivät kuitenkaan ota huomioon tangentin ja kosketinvarren joustavuutta, vaan he käsittelevät tangenttia ja kosketinvarrtta yhtenä massamaisena terminointina ja ristiriita havaintojeni ja heidän laskelmiensa välillä johtuneen juuri tästä virheellisestä yksinkertaistuksesta. (Thwaites & Fletcher 1981, s.1479)

Kuvassa 6.15 soittimessa soi vain toinen kieliparin kielistä. Toinen on vaimennettu huopakastaleella, ja kuvasta on selvästi nähtävissä osasävelten monotoninen vaimentuminen. Ääni on subjektiivisesti puhdas ja selkeä, mutta epäklavikordimainen. Klavikordin soinnillisiin ominaisuuksiin kaksoiskielityksen vaikutus on siis varsin huomattava. Soitinta virittäessä tapahtuu suuria muutoksia äänen rakenteessa sen mukaan, miten hyvin kielet ovat vireessä keskenään. Tästä ovat esimerkkinä kuvien 6.16 ja 6.17 desibeliasteikkoiset aaltomuotoesitykset. Viritin suuren D-äänien subjektiivisesti sekä hyvään, että hieman huonoon vireeseen. Huonossa vireessä olevan äänen alku on aksenttimainen, ja kielten välinen huojunta näkyy noin 0,6 sekunnin jaksoissa. Hyvässä vireessä olevassa äänessä alun vaimeneminen on hitaampaa ja kestää huomattavasti pidempään. Noin 0,7 sekunnin kohdalla kielten vaiheet näyttävät asettuneen osittain vastakkaisiksi ja vaimeneminen on hidastunut.



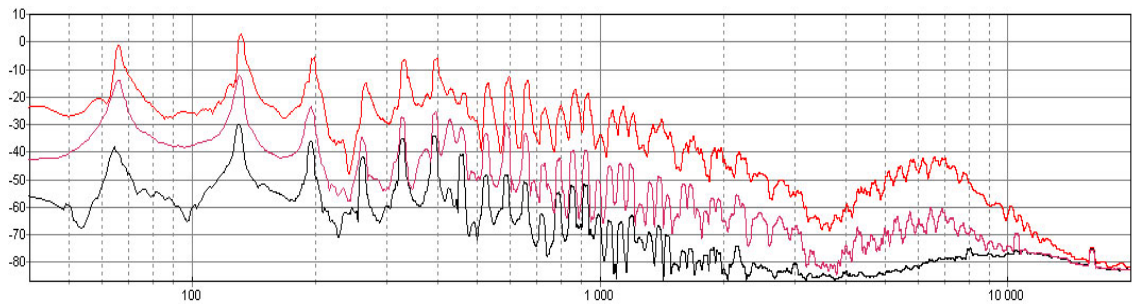
Kuva 6.16 Huonossa vireessä olevan äänen verhokäyrä (suuri  $D$ ).



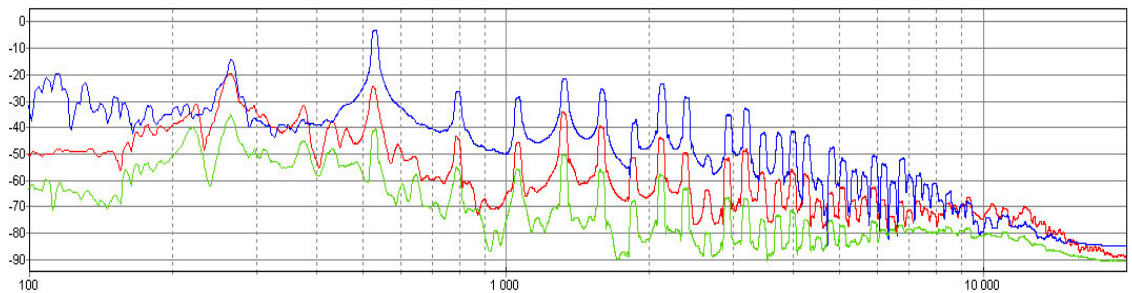
Kuva 6.17 Hyvässä vireessä olevan äänen verhokäyrä (suuri  $D$ ).

## 6.5 Dynamiikka

Mittasin kaikkien c-sävelten dynamiikan vaihtelumahdollisuudet. Ylärajana pidin soitotapaa, joka ei vielä tehnyt äänestä rumaa. Alarajoina olivat normaalissa kappaleessa hypoteettinen hiljaisin hallittava kosketus ja erikoishiljainen kosketus, jonka käyttö normalisoitossa on liian hidasta ja epävarmaa. Mitään teknistä absoluuttista alarajaa äänen hiljaisuudelle ei ole, mutta äänen soittaminen pohjakohinan tasolla alkaa olla jo inhimillisesti mahdotonta. Soittovoimakkuus vaikuttaa äänen spektriin melko vähän, toisin kuin esimerkiksi pianossa, jossa vasaran rakenteesta johtuen kova kosketus tuottaa enemmän osasäveliä kuin hiljainen. Kuvassa 6.18 on esitetty ala-C:n spektri kolmella eri voimakkuudella soitettuna. Normaalin soitotavan ja erikoishiljaisen otteen välillä on noin 35 desibelin ero. Käyristä näkee myös sen, että kovaa soitettu ääni on vireeltään hieman korkeampi kuin hiljaa soitetut, koska sormen paino kosketimella on jäänyt suuremmaksi. Keski-c:n vastaavissa käyrissä kuvassa 6.19 kokonaidynamiikka on noin 30 desibeliä. Dynamiikanhallintakyky riippuu soittajan harjaantuneisuudesta, eikä kokematon soittaja saa puhtaasti hallintaan kymmentäkään desibeliä.



Kuva 6.18 Eri soittovoimakkuuksia suurella C:llä.



Kuva 7.19 Eri soittovoimakkuuksia keski-c:llä.

## 6.6 Kosketuksesta

Soittimeni kosketuksen kovuus tai herkkyys ovat klavikordimittakaavassa jossain ääripäitten välillä. Kokeneet klavikordinsoittajat Pekka Vapaavuori ja Aapo Häkkinen pitivät kosketusta varsin tyypillisenä ja luotettavan tuntuena. Tangentin tahaton hetkelinen irtoaminen kielestä heti alukkeen jälkeen ja soinnin kuoleentuminen ovat uhkana huolimattomalle soittajalle. Jokainen ääni vaatii huomiota ja nopeiden skaalojen ja murtosointujen soittamisessa on haastetta. Klavikordiin tottumattomalle suurin haaste ja outous on siinä, että vaikka kosketuksessa ei ole jousi- tai massamaista vastusta juuri ollenkaan, niin sormen paino koskettimella tangentin kosketushetkellä täytyy pitää hyvässä hallinnassa. Voimakkaasti soittaessa käy helposti niin, että koskettimen painamista jatkaa suurella voimalla alukkeen jälkeen jolloin vire kärsii. Hiljaa soittaessa taas tangentin takaisinponnahdusvaara on suuri. Lisävaikeutena on, että kosketin painuu alas hyvin pienellä voimalla, joten pieniä lipsahduksia viereisille koskettimille ei saa anteeksi, vaan ne paljastuvat hutiiääninä.

Vibraaton tuottamiseen tai taivutuksiin tarvittava voima vaihtelee klaviatuurin eri kohdissa jonkin verran. Tämä on kaikille klavikordeille tyypillistä. Soittimen ensikielitys ei kaikilta osin ole vielä paras mahdollinen, mutta kielitystä ei voi tehdä pelkän soitto-

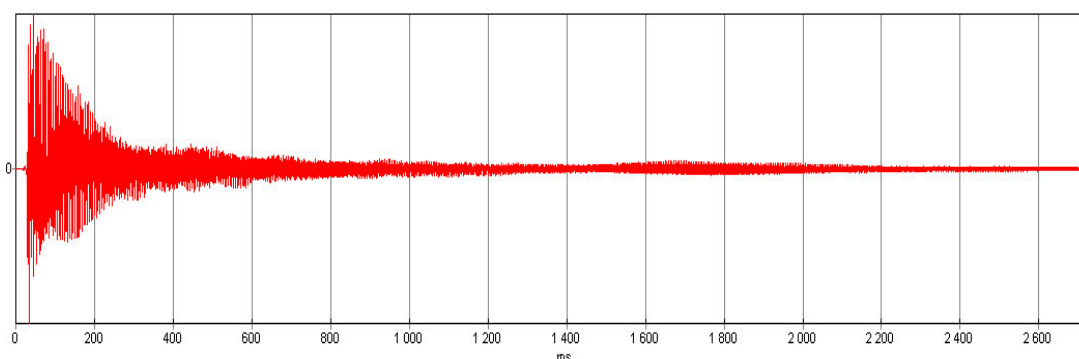
tuntuman perusteella, vaan soinnilliset ominaisuudetkin pitäisi ottaa huomioon. Ylimmän diskantin kielitystä voisi hieman paksuntaa, koska nyt kyseisellä alueella taivutus syntyy selvästi pienemmällä voimalla kuin muualla. Sileitten ja punottujen kielten rajakohdassa kosketus muuttuu selvästi. Alimmat sileät venyvät helposti, koska ne ovat kaukana katkeamispisteestään, mutta ylimmät punotut tuntuvat jäykiltä. Niihin pitäisikin tehdä uudet kielet ohuempaa punoslankaa käyttäen. Tästä bassoa kohti siirryttäessä kielten venymiskyky kasvaa niin, että alimmilla äänillä voi helposti tehdä kokoaskeleen venytyksen. Keskialueella puoliaskleen venytys tuntuu jo lievästi väkivaltaiselta, mutta on se mahdollista. Diskantissa voi ääntä venyttää kokosävelaskeleen verran. Kaikissa suurissa venytyksissä kuuluu selvästi, että taaempi kieli joutuu venymään enemmän, ja kielet ovat epävireessä keskenään.

## 6.7 Muita soittotekniikoita

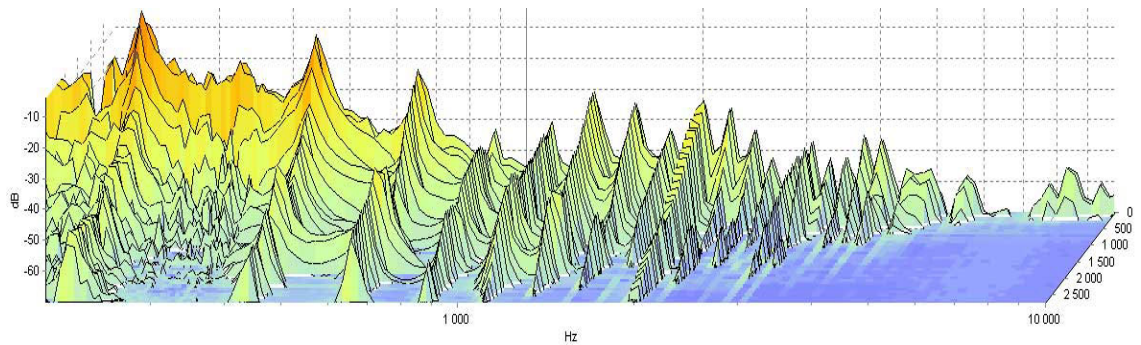
Historiallisesti tiedetään klavikordinsoitossa käytetyn vibraattoja ja *Tragen der Töne* -tekniikkaa, eli äänen keskelle tuotettua aksenttia, sekä soittotapaa, jossa vasen käsi pitää alhaalla koskettimia ja oikealla kädellä vedetään sormella tai kynnellä kielten ylitse liike, joka saa vasemman käden alhaalla pitämät äänet soimaan. Efekti muistuttaa hieman kitaran tai luutun soinnun soittoa.

### 6.7.1 ”Tragen der Töne”

Kyseisen efektin tuottamiseksi kosketinta painalletaan hetkeksi tiukemmin alas äänen jo soitua tovin, jolloin kielten välinen vaihelukittuminen purkautuu ja ääneen keskelle syntyy aksentti.



Kuva 6.20 *Tragen der Töne* -efektin vaikutus aaltomuotoon kohdassa 1500 ms.



Kuva 6.21 *Tragen der töne* -efektin vaikutus kohdassa 1500 ms vesiputouskäyrästä.

Kuvassa 6.20 esitetään kyseisen soittotekniikan vaikutus pieneen a:han. Koskettimeen on kohdistettu impulssi 1,5 sekunnin kuluttua äänen alusta. Aaltomuodossa näkyy aksentti kyseisessä kohdassa. Kuvan 6.21 vesiputouskäyrästä näyttää tarkemmin, mihin osasäveliin vaikutus kohdistuu. Siitä nähdään myös, että soittotapa itse asiassa lyhentää ääntä, koska useimpien osasävelten vaimenemisnopeus kasvaa selvästi. Impulssi sormesta ei siis tuo lisää energiaa kieleen, vaan ainoastaan rikkoo vaihelukituksen.

### 6.7.2 ”Rummutus”

Sähköklavikordin mahdollistama suurempi äänenvoimakkuus tuo kuuluville muutamia kiintoisia soittotekniikoita, jotka jäävät perinteisessä klavikordissa lähes kuulumattomiin. Erittäin hauskan kuuloinen on soittotapa, jossa basso- tai tenorirekisterissä vasemmalla kädellä alhaalla pidettäviä koskettimia napautellaan oikean käden sormilla. Näin syntyvä ääni on kumea ja tumma ja siinä on pehmyt alue. Sävy tuo etäisesti mieleen esimerkiksi steel pan -soittimen.

### 6.7.3 Huiluäänet

Myös huiluäänten käyttö jää perinteisissä klavikordeissa melko teoreettiseksi tekniseksi hiljaisen yleisvoimakkuuden takia. Sähköinen vahvistus tuo ne täysipainoisina soittimen keinovaroihin.

Koska soittimessa on bassoon asti suorat kielisillat, ja kielet ovat kätevästi soittajan ulottuvilla ja esillä, niin huiluäänien ottaminen vaikkapa kokonaisina sointuina on helppoa. Basso- ja tenorialueella asetetaan oikean kämmenen reuna tarkasti jollekin linjalle

kieliryhmän yli, ja vasemmalla kädellä painellaan koskettimia. Kun oikean käden nostaa irti kielistä heti alukkeen jälkeen, huiluääni tai koko sointu jää kauniisti soimaan. Oktaavihuiluääni on helpoin hallittava – kuten muissakin kielisoittimissa – mutta tarkalla oikean käden hallinnalla voi ottaa paljon kaukaisempiakin osasäveliä, ja vaikutelmat voivat olla hyvin erikoisia, kun sointuun vielä lisää erivaiheista vibraattoa kaikkiin ääniin.

## 6.8 Kypsyneempiä subjektiivisia havaintoja

Mielestäni äänen perusluonne on käsittelemättömänä ja kuulokkeilla kuunneltuna melko tumma, muttei kuitenkaan epäselvä. Bassoissa on voimaa ja matalatkin osasävelet kuuluvat hyvin. Ylin diskantti on melko lyhytsointinen, mitä voi pitää pienenä puutteena.

Minkäänlaisia sivuääniä ei esiinny, mutta tangenttien päitten hionta täytyy välillä tarkistaa, koska muuten kielien niihin kaivamat kuopat aiheuttavat häiriöitä ääntä taivuttaessa.

Akustisiin klavikordeihin totuneet Aapo Häkkinen ja Pekka Vapaavuori kävivät vuorollaan kumpikin pohtimassa soittimen olemusta ja käyttökelpoisuutta. Kumpikin totesi kaiuttamattoman soinnin hieman tylyksi, heidän mielestään aluke tuntui liian äkkinäiseltä tai sointi ei avautunut alukkeen jälkeen. Havainnot olivat hyviä ja ne on helppo ymmärtää. Perinteisissä klavikordeissa matka kielisillasta viritystappiin on varsinkin diskantissa pitkä, ja tällä välillä kulkevat kielet muodostavat eräänlaisen resonanssi-kielirykelmän, jonka vaikutus sointiin on huomattava. Sähköklavikordin mikrofonitekniiikan takia näiden resonoivien kielenpätkien vaikutus sointiin jää hyvin pieneksi. Kun sitten kuuntelimme soittimen ääntä rakentamani jousikaikulaitteen laajentamana, niin tilanne muuttui. Sointi sai kaipaamansa lisän elävyyteen ja alukkeiden sävy pehmeni.

Monet soinnillisista havainnoista selittyvät toki puhtaasti sillä, että äänenvoimakkuuden nosto muuttaa psykoakustista vaikutelmaa. Eihän perinteinen klavikordikaan kuulosta levyltä liian lujaa kuunneltuna enää klavikordilta.

Häkkisen ja Vapaavuoren näkemykset ja oma näkemykseni sähköklavikordin musiikillisesta relevanssista olivat melko samanlaiset. Me kaikki pidimme sitä soveliaana, joskaan ei tietenkään ideaalina barokkimusiikin soittamiseen. Lopputulos kaiutettuna ja vahvistettuna on yllättävän lähellä normaalia klavikordia, tämä tietenkin hyvin suhteellisesti ottaen. Sähköistämisen mahdollistamat soittotekniikat olivat meidän kaikkien

mielestä muutakin kuin pelkkiä hauskoja kikkoja, mutta varsinkin itselleni ne ovat koko soittimen suola. Puhtaasti akustista ääntä pidettiin myös riittävän laadukkaana harjoittelukäyttöön.

Verrattuna vahvistettuun perinteiseen klavikordiin sähköklavikordin ääni on huomattavasti puhtaampi, koska magneettimikrofonit eivät rekisteröi koskettimiston sivuääniä, soittajan puhinaa, vaatteiden kahinaa ja ympäristön pohjamelua. Soittimen rungon koputtaminen sen sijaan kuuluu selvästi, ja suurilla vahvistuksilla jopa pelkkä käden kosketus johonkin rungon osaan on kuultavissa. Runkohäiriöääniä voisi vähentää joustavilla mikrofonien kiinnityksillä.

# 7 Rakenteellista arviointia

## 7.1 Vireen pysyvyys

Vireen pysyvyys on aina yksi keskeisimpiä kysymyksiä, kun puhutaan historiallisista kosketinsoittimista. Yleisimmät syyt vireen pettämiseen ovat seuraavat:

- 1) Ilmankosteuden vaihtelu muuttaa puun dimensioita ja soittimen rungon ja kaikupohjan muotoa, minkä seurauksena kielten jännitteet muuttuvat.
- 2) Ilman lämpötilan vaihtelu vaikuttaa kielimateriaalin joustavuuteen ja laajentumiseen. Lämmennyt kieli venyy ja löystyy ja päinvastoin.
- 3) Voimakas vibraation tai äänen venytyksen käyttö venyttää kieltä.
- 4) Kielen jännitys ei jakaudu kitkan takia tasaisesti kielisillan molemmin puolin joko virityksen jälkeen tai voimakkaan venytyksen jälkeen.

Rakentamani sähköklavikordi on pitänyt vireensä varsin hyvin. Käytetty runkorakenne ja puumateriaali ovat riittävän vakaita. Kaksiosaisen kielisillan ansiosta kielet muuttavat virettään lämpötilan muuttuessa suurin piirtein saman verran, joten soitin pysyy vireessä ainakin itsensä kanssa, vaikka absoluuttinen viritystaso eläisikin. Vain alimmat bassot menettävät vireensä helposti. Kielisillan ja viritystappien välimatka on lyhyt. Tämä vähentää puutteellisesta jännityksen jakautumisesta johtuvaa vireen heittelyä soittaessa. Pieni koko ja lämpökäsitelty puu tekevät kaikupohjasta erittäin vakaan komponentin.

## 7.2 Rungon muotolujuus

Klavikordin runko on rakenteiden järeyteen nähden voimakkaassa jännityksessä. Siksi kaikki klavikordit poikkeuksetta muuttavat muotoaan kielten vedon vaikutuksesta. Sähköklavikordin materiaalivahvuudet ovat melko normaalit, mutta soittimen pohjan sisäpintaan liimattu vääntötuki on ohut verrattuna moniin akustisiin klavikordeihin. Se ei olekaan pystynyt vastustamaan soittimen rungon muodon muuttumista. Varsinkin vasen takanurkka, johon tenori- ja bassokielet kiinnittyvät on noussut, viime mittauksen mukaan noin viisi millimetriä. Tällä ei ole ollut mitään havaittavia sivuvaikutuksia, mutta jää nähtäväksi, kuinka paljon rungon vääntyminen vielä vuosien myötä lisääntyy.

## 8 Lähdeet

- Brauchli, B. 1998. *The Clavichord*. UK: Cambridge Musical Texts and Monographs. ISBN 0 521 63067 3
- Brown, R. 2001. *Properties of Piezo Cable*. USA: Measurement Specialties, Sensor Products Division.
- Burhans, R. 1973. Clavichord Amplification. USA: *J.Acoust.Soc.Am.* Volume 21, Number 6.
- Burhans, R. 1975. Audio Engineering Improvements for Clavichords. USA: *J.Acoust.Soc.Am.* Volume 23, Number 8.
- Jungmann, T. 1994. Theoretical and Practical Studies on the Behaviour of Electric Guitar Pick-ups. Espoo: TKK. Diploma Thesis.
- Kottick, E. 2003. *A History of the Harpsichord*. Bloomington & Indianapolis: Indiana University Press. ISBN 0 253 34166 3
- Praetorius, M. 1619. *Syntagma Musicum, vol II De Organographia*. Faksimile reproduktio soitinkuvista. Lähde tuntematon.
- Rossing, T. 1989. *The Science of sound*. Addison-Wesley Publishing Company, Inc. ISBN 0 201 15727 6
- Taylor, L. The Case for and Against the Electric Clavichord. UK: *British Clavichord Society Newsletter* 8 (June 1997).
- Thwaites, S. & Fletcher N. H. 1981. Some Notes on the Clavichord. USA: *J.Acoust.Soc.Am.* 69(5), May 1981.
- Vapaavuori, P. Viisi muunnelmaa Anders Wählströmin teemasta, soinnin ja soitettavuuden muuttajat Wählströmin-klavikordin rekonstruktioissa. Kuopio: Sibelius-Akatemian Kuopion osasto.
- Weinreich, G. 1979. The Coupled Motions of Piano Strings. USA: *Scientific American*, January 1979 .
- Zappa, F. 1968. The Incredible History of the Mothers. *Hit Parader*, No. 48, June 1968.

## Internet-lähteet

S. K. Guitar Specialties. Factors Affecting How a Pickup Sounds. [http://mywebpages.comcast.net/skgs/sk/pickup\\_factors.htm](http://mywebpages.comcast.net/skgs/sk/pickup_factors.htm). 28.2.2005

Kipness, A. 2002. *The Hohner Clavinet FAQ*. <http://www.Clavinet.com>. 26.2.2005

Coates, B. *Classic Keyboards – the Hohner Clavinet*. Reproduced from Article in Australian Musician Magazine. <http://www.gti.net/junebug/clavinet/clav.html>. 26.2.2005

Simon's Hall of Electric Pianos. <http://members.lycos.co.uk/karenlbeck/epianos2.html>. 26.2.2005

Darreg, I. Unusual Instruments May Be Seen and Heard in Hilltop Studio [From Exposition Boulevard Expose, 1973]. <http://sonic-arts.org/darreg/dar11.htm>. 28.2.2005

# Liitteet

## Valmistusmateriaalit ja komponentit

Osa seuraavan luettelon materiaaleista tulee mainituksi muissakin luvuissa, mutta pieni kokoava katsaus antaa ehkä paremman yleiskuvan.

Soittimen pohja ja runkosivut ovat **vaahteraa** sen lujuuden ja hyvien käsittelyominaisuuksien takia. Vaahteran syykuviointi on rauhallinen ja sallii pintakäsittelyn rajaamisen pelkkään öljyämiseen. Vaahteraa käytetään myös mikrofonien rungoissa.

Viritystukki, pohjan vääntötuki, koskettimiston keskipinnapalkki ja kielten kiinnityspintojen (takapintojen) aluslista ovat **tammea**. Tammi on koeteltu ja hyväksi havaittu puulaji viritystukkiin ja muihin äärimmäistä lujuutta vaativiin rakenteisiin kovuutensa ansiosta.

Koskettimisto on **lehmusta**. Lehmus on varsin pehmeä puulaji ja erittäin helppo työstettävä. Vakaus ilmankosteuden vaihdellessa myös tärkeä peruste sen käytölle koskettimistossa.

Kaikupohja on lämpökäsiteltyä **kuusta**. Lämpökäsittely on tapa vanhentaa puuta keinoitekoisesti. Se muuttaa jonkin verran puun akustisia ominaisuuksia ja vähentää sen taipumusta elää kosteuden mukaan.

Kielisillat ovat **pyökkiä**. Pyökki on perinteinen kielisiltamateriaali klavikordeissa. Sen ominaisuuksiin kuuluvat kovuus ja alhainen halkeamisalttius syiden suuntaisesti.

Alakoskettimien pinta on **eebenpuuta**.

Yläkoskettimet ovat **päärinäpuuta** ja niissä on **luupinta**.

Viritystapit ja sileät kielet ovat **rautaa** samoin kuin punottujen kielten sydän.

Sileiden kielten tangentit ovat **ruostumatonta terästä**.

Punottujen kielten punoslanka ja elektroniikkatilan maalevy ovat **kuparia**.

Elektroniikkatilan kansi, mikrofonitilan pohjasuoja ja päälisuoja ovat **messinkiä** sen viimeisteltävyyden, näyttävyyden ja sähkönjohtavuuden takia. Myös punottujen kielten tangentit, kielten takapinnat, tähtimaatolppa ja kielisiltapinnat ovat messinkiä.

Kielten maadoituslanka ja gate-pulssilanka on **hopeaa** sen hyvän muokattavuuden takia. Hopean pintaan ajan mittaan kertyvän patinakerroksen pitäisi tietojeni mukaan myös olla johde, toisin kuin monien muiden metallien oksidien.

Magneettimikrofonien sydämet ovat **AlNiCo5**-metalliseosta, joka on alumiinin, nikkelin ja koboltin muodostama perinteinen kestmagneettimateriaali.

Mikrofonien käämintälanka on 0,065 mm paksuista<sup>14</sup> lakattua **kuparilankaa**.

Erilaisia **huopak**kerroksia ja –suikaleita on koskettimien takapäiden alla pehmentämässä niiden paluuta ja kielten vaimenninpunoksena.

Pietsomikrofonikaapeli on teollista yleiskäyttöistä tuotetta, jossa on ydin ruostumatonta terästä. Sen ympärillä on kerros pietsoelektristä kumia, ja tämän päällä taas rst-vaippa ja pintamateriaalina on muovi.

Koskettimien takaohjainlevyt ovat **delrin-muovia**.

## **Pintakäsittelyaineet**

Danish Oil<sup>15</sup> kaikille runkopinnoille ja alakoskettimille.

Shellakka<sup>16</sup> kaikupohjalle, kielisilloille, mikrofonirungoille ja käämien suojaamiseen ja lujittamiseen.

Kaksikerrosmetallilakka kaikille messinkiosille.

Lisäksi osien kiinnittämiseen käytettiin modernia kovaa PVA-liimaa, perinteistä nahka- eli kuumaliimaa, epoksiliimaa ja syanoakrylaattipikaliimaa. Mekaanisia kiinnitystapoja edustivat sekä teräs-, että varsinkin messinkiruuvit, lyöntimutterit ja kierretapit.

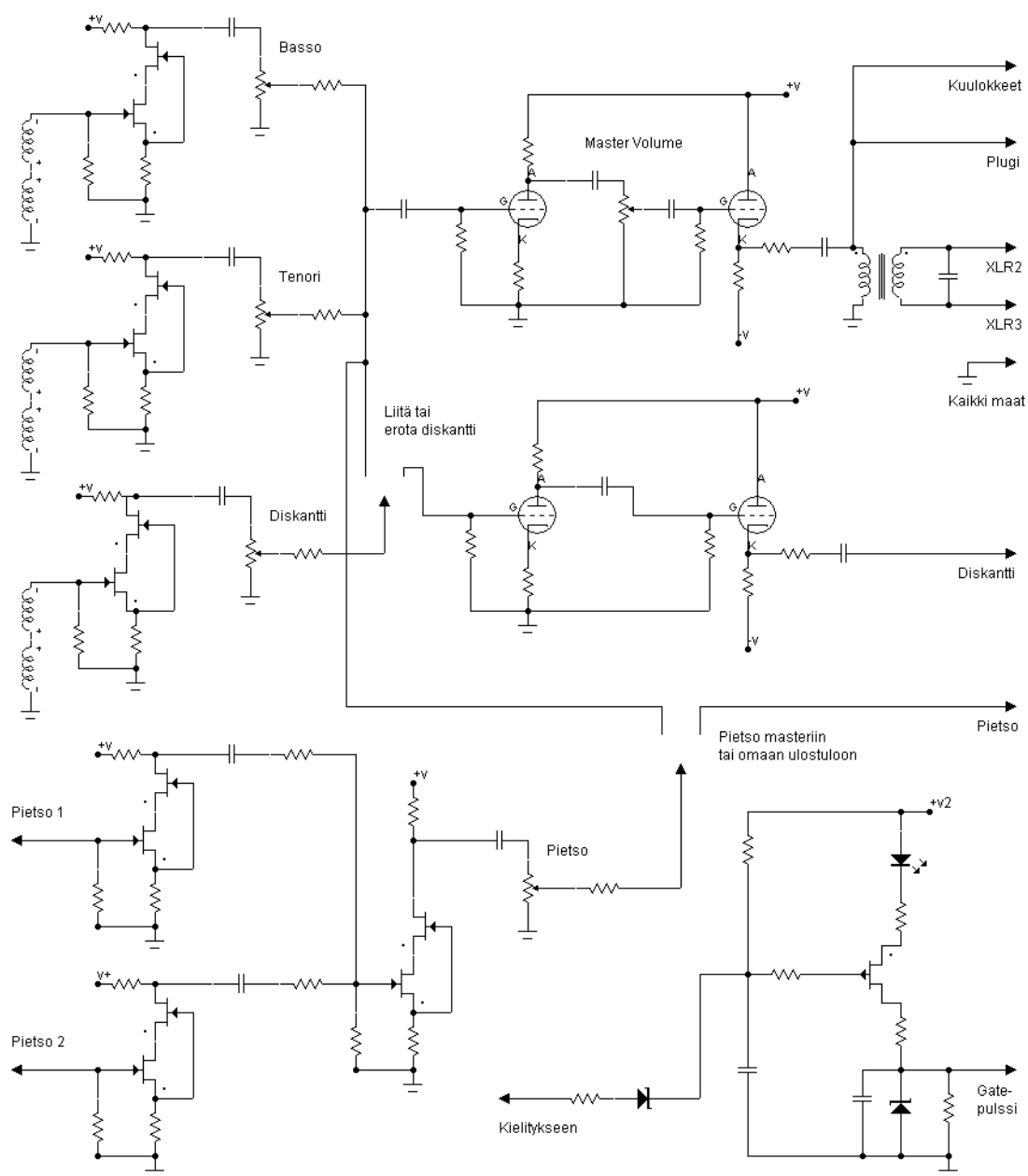
---

<sup>14</sup> Kutakuinkin tuhdin hiuksen paksuus.

<sup>15</sup> Danish Oil on tuotemerkki Rustin's -yhtiön suosituille puun pintakäsittelyöljyseokselle.

<sup>16</sup> Shellakka on perinteinen spriiliukoinen lakka, joka kuivuu nopeasti, ja jättää tarvittaessa hyvin ohuen ja huomaamattoman, kauniin pinnan. Paksumpina kerroksina se kiiltää ja täyttää pieniä rakoja.

# Koko signaalelektronikka



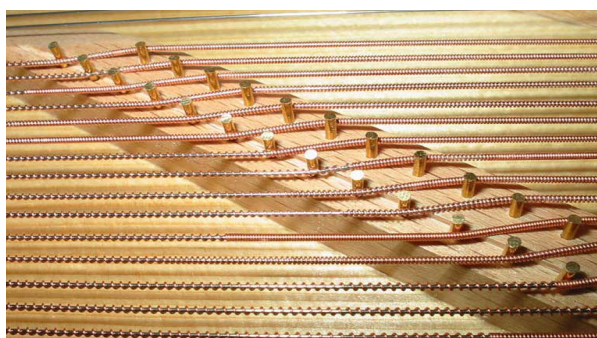
Käyttöjännitteet:

- +v        +24 V
- v        -24 V
- +v2      +12 V

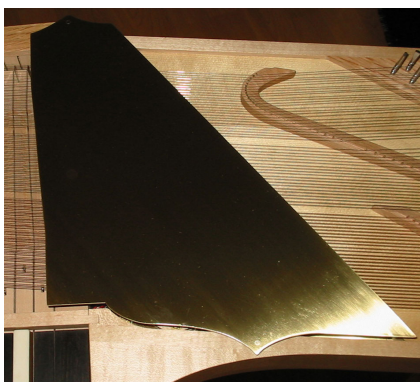
## Valokuvia



*Koko soitin ilman vaimennus- ja suojalevyjä*



*Kielten kulku bassosillan yli*



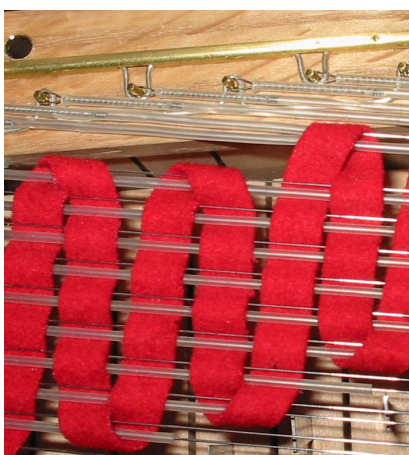
*Häiriösuojalevy*



*Basson vaimenninlevy*



*Koko soitin*



*Vaimenninhuopapunosta tenorissa*



*ja diskantissa*

