



Osaamista
ja oivallusta
tulevaisuuden
tekemiseen

Ossi Ähman

Alumiinisen sähkökitaran suunnittelu

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma

Insinööriytyö

23.5.2019

Tekijä Otsikko	Ossi Åhman Alumiinisen sähkökitaran suunnittelu
Sivumäärä Aika	51 sivua + 1 liite 23.5.2019
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Kone- ja tuotantotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Energia- ja ympäristötekniikka
Ohjaaja	Lehtori Tero Karttiala
<p>Insinööriyön tavoitteena oli suunnitella alumiininen sähkökitara Catia V5 - ohjelmistoa käyttäen. Suunnittelu toteutettiin valmistustekniset näkökulmat huomioiden mahdollisimman tarkkaan jo 3D-malleja tehtäessä.</p> <p>Työssä perehdyttiin suunnittelutyön lisäksi alumiinin soveltuvuuteen soittinrakennukseen, keskittyen soittimen keveyteen sekä rakenteellisiin mahdollisuuksiin. Suunnittelutyö keskityi sähkökitaroissa käytettyjen puuosien korvaamiseen alumiinilla, ja muut osat hankitaan valmiina. Työssä tarkasteltiin myös saatavilla olevien osien soveltuvuutta alumiinirakenteessa käytettäväksi.</p> <p>Suunnittelutyössä ja mitoituksessa hyödynnettiin aikaisempaa käytännön kautta hankittua tietoutta soittimista sekä kitaranvalmistuksesta löytyvää kirjallisuutta. Puisissa sähkökitaroissa olevia menetelmiä käytettiin suunnittelun perustana ja tarpeen vaatiessa niitä muokattiin alumiinille soveltuvimmiksi.</p> <p>Insinööriyön kautta vahvistui tietämys huomioonotettavasta laitteistosta sekä sen asettamista rajoituksista ja mahdollisuuksista. Puun ja alumiinin väliset erot massassa kävivät ilmeisen selviksi suunnitteluprosessin aikana. Työn tuloksena syntyi mallit alumiinisen sähkökitaran rakenteellisista osista.</p>	
Avainsanat	Sähkökitara, alumiini, 3D-mallinnus

Author Title	Ossi Åhman Designing an Aluminium Electric Guitar
Number of Pages Date	51 pages + 1 appendix 23 May 2019
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Mechanical Engineering
Specialisation option	Energy and Environmental Engineering
Instructors	Tero Karttiala, Lecturer
<p>The objective of this Bachelor's thesis was to design an aluminium electric guitar. The design was done utilizing the Catia V5 software. Production aspects were taken into account during the design process.</p> <p>Additionally, the possibilities of aluminium in the making of stringed instruments were examined, the mass and construction being in the most significant role. The design process focused on replacing the wooden parts of traditional electric guitars with aluminium.</p> <p>The measurements and design of the guitar are rooted in the author's practical knowledge of stringed instruments and written materials of luthiery, i.e. the construction and repair of stringed instruments. The methods utilized in wooden constructions were applied to aluminium and modified, when needed, to better suit its properties.</p> <p>As a result of this Bachelor's thesis, 3D models for all the guitar's aluminium parts were made. The modelled parts were: the neck, fretboard, body, back plate and pickguard. During the thesis, the differences in mass between wood and aluminium became very apparent.</p>	
Keywords	Electric guitar, aluminium, 3D modelling

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Sähkökitaran historia	2
2.1	Puiset sähkökitarat	2
2.2	Alumiiniset sähkökitarat	6
2.3	Komposiittivalmisteiset sähkökitarat	9
3	Sähkökitaran toimintaperiaate ja rakenne	12
3.1	Äänentuotto	12
3.2	Sähkökitaran rakenne	13
3.2.1	Kaula	14
3.2.2	Otelauta	16
3.2.3	Runko	17
4	Suunnittelun esityö	18
4.1	Käyttäjän vaatimukset	18
4.1.1	Aika Oranssi	18
4.1.2	JA-60	19
4.1.3	Squier Bullet Mustang	20
4.1.4	Käyttäjän vaatimukset listattuna	21
4.2	Laitteiston rajoitukset	23
5	Luonnostelu	24
5.1	Rakenne	24
5.2	Muoto	27
6	Tietokoneavusteinen suunnittelu	31
6.1	Kaula	31
6.2	Otelauta	37
6.3	Runko	41

6.4	Plektrasuojus ja taustalevy	47
6.5	Kokoonpano	49
7	Yhteenveto	51
	Lähteet	52
	Liite: Kitaran kokoonpanopiirros	

1 Johdanto

Tässä insinööriyössä käsitellään alumiinisen sähkökitaran suunnittelua pääosin Catia V5 - ohjelmistoa hyödyntäen. Työn tarkoituksena on tutkia alumiinin mahdollisuuksia ja hyödynnettävyyttä soitinrakennukseen. Suunnittelu toteutetaan valmistusteknilliset aspektit huomioiden mahdollisimman tarkasti jo suunnitteluvaiheessa. Kyseinen kitara on määrää toteuttaa Metropolian Konetekniikan laboratorion löytyvällä metallintyöstölaitteistolla.

Insinööriyö on toteutettu kitaran suunnittelijalle ja soitinharrastuneisuuden kautta hankittu tietämys soitinten ominaisuuksista sekä soinnista ja mallieroista tukee suunnittelu-prosessia. Suunnittelutyössä hyödynnetään tekijältä löytyviä kitaroita ja koostetaan tälle mitoitukseltaan parhaiten soveltuva sähkökitara.

Suunnitteluprosessissa keskitytään sähkökitaroissa käytettävien puisten rakenteiden korvaamiseen alumiinisilla. Käytännössä tämä tarkoittaa otelautaa, kaulaa sekä runkoa. Muut osat hankitaan valmiina, jotta projekti pysyy hieman kevyempänä toteuttaa.

Soittimen massa sekä painopiste vaikuttavat käyttömukavuuteen. Näitä ominaisuuksia tarkastellaan suunnittelun aikana Catiasta löytyvällä inertialaskurilla, josta selviää soittimen massa sekä painopiste. Lujuuslaskelmien sijasta työssä hyödynnetään puisissa sähkökitaroissa käytössä olevia materiaalivahvuuksia rasitukselle alttiissa kohdissa.

Sähkökitaralla tarkoitetaan kyseisessä työssä täysikokoista konserttivireessä (EADGBE) olevaa kitaraa, jossa on mikrofonit äänen vahvistamiseen ulkoisella vahvistimella [1]. Soitettavuus ja käyttömukavuus ovat suunnittelijan omia subjektiivisia käsityksiä sekä mielipiteitä.

2 Sähkökitaran historia

Sähkökitaran historia ulottuu 1930-luvulle. Sen evoluutio on kulkenut onttokoppaisista (akustisista) mikrofonein varustelluista kitaroista puoliakustisten kautta lankkukitaroihin. Materiaaleina sähkökitaroissa on laajasti käytetty puuta, ja tämäntyyppisiä kitaroita tarkastellaan luvussa 2.1.

Puun lisäksi materiaaleina on käytetty alumiinia sekä komposiitteja. Näistä on poimittu muutamia esimerkkejä luvuissa 2.2 sekä 2.3. Historiaosuuden tarkoitus on kertoa pääpiirteet sähkökitaroiden historiasta, paneutumatta aiheeseen syvällisesti. Historian kautta voi ymmärtää, mitkä asiat ovat vaikuttaneet sähkökitaroiden muokkautumiseen nykymuotoonsa.

2.1 Puiset sähkökitarat

Ensimmäinen kaupallisesti tuotettu puinen sähkökitara oli Gibson ES-150 vuodelta 1935 (kuva 1). Rakenteeltaan se oli onttokoppainen f-aukoin varustettu koverakantinen kitara, jossa oli yksikelainen mikrofoni sijoitettuna kanteen. [2, s. 54.]



Kuva 1. Gibson ES-150 sekä ensimmäinen tuotantokitarassa käytetty mikrofonimalli [2, s. 54].

Mikrofoni antoi kitaristille aiempaa vaikuttavamman kuuluvuuden ja nosti kitaristin täten tarvittaessa orkesterin etualalle. Kitarassa oli ruusupuinen otelauta, joka oli kiinnitetty mahongista valmistettuun kaulaan. Runko koostui kuusikannesta, joka oli yhdistetty mahonkisivuin takakanteen. [3.]

Onttokoppaisten sähkökitaroiden ongelmana oli herkkyys äänen kiertoon mikrofonin ja vahvistimen välillä. Tämän hermoja raastavan ulinan vähentämiseksi Gibson kehitti vuonna 1958 puoliakustisen ES-335T -mallin (kuva 2). Kyseisessä kitarassa oli laminoitua vaahteraa oleva kansi sekä takakansi, mutta keskellä, linjassa kaulan kanssa, oli puupalkki. Puupalkin oli määrä vaikuttaa hillitsemällä kannen värähtelyä aiheutuvaa kiertoa. [2, s. 54.]



Kuva 2. Vuonna 2016 valmistettu Gibson Memphis 1958 ES-335 VOS [4].

Onttokoppaisissa ilmenevien kierto-ongelmien kanssa kamppaili myös Les Paul jo 40-luvun alussa. Hän kehittikin vuonna 1941 ratkaisuksi oman lankkukitaransa, joka koostui 10 x 10cm vaahterapalkkiin kiinnitetystä kaulasta sekä mikrofoneista. Sivuiksi hän liimasi keskeltä halkaistun ontokoppaisen kitaran puolikkaat. [2, s. 55.]

Lankkukitaralla viitataan tässä tapauksessa sähkökitaraan, joka pääosin on tarkoitettu soitettavaksi vahvistimen kautta. Johtuen rakenteesta, jossa ei ole kaikukoppaa, instrumentin sointi perustuu sähköiseen vahvistukseen. [2, s. 55.]

Vuonna 1948 Leo Fender toi markkinoille nimeään kantavan Fender Broadcaster -mallin (kuva 3). Tässä mallissa oli täyspuinen leppä- tai saarnirunko yhdistettynä vaahtera-kaulaan. Kahdella yksikelaisella mikrofonilla, jotka voitiin valita kolmiasentoisella mikrofonivalitsimella toimimaan yksitellen tai yhdessä rinnan, saatiin aikaan laaja paletti ääniä. Mukana olivat myös jo Gibsonin ES-150:stä tutut äänenväri- sekä voimakkuussäätimet. [2, s. 56.]



Kuva 3. Fender Broadcaster vuodelta 1950. Mallia valmistetaan nykyään lähes muuttumattomana mallinimellä Telecaster [5].

Fenderin vuonna 1954 esittelemä Stratocaster nousi myös soittajien suosioon ja sitä valmistetaan lähes muuttumattomana tänäkin päivänä. Fenderin Telecaster ja Stratocaster-mallien lisäksi vuonna 1952 julkistettu Gibson Les Paul sekä 1960 esitelty Gibson SG (kuva 4) loivat normit sähkökitaroille. [2, s. 57, 58.]

Gibsonin malleissa oli materiaaleina yleisimmin mahonkisia runkoja sekä kauloja ja ruusupuisia otelautoja. Les Paul -mallissa oli mahonkisen täyspuisen rungon päälle liimattu vaahterakansi. Kyseisessä kitaramallissa oli alkujaan kaksi yksikelaista mikrofontia, jotka vuonna 1957 vaihtuivat kahteen kaksikelaiseen mikrofontiin. [2, s. 58.]

Kaksikelaisen mikrofonin tarkoitus oli eliminoida yksikelaisissa mikrofoneissa esiintyvää huminaa. Kyseiset mikrofonit onnistuivatkin tässä ja loivat erilaisen äänimaailman aikaisempiin yksikelaisiin verrattuna. [2, s. 53.]



Kuva 4. Kuvassa vasemmalla Gibson SG Standard Tribute ja oikealla Gibson Les Paul Studio Tribute [6].

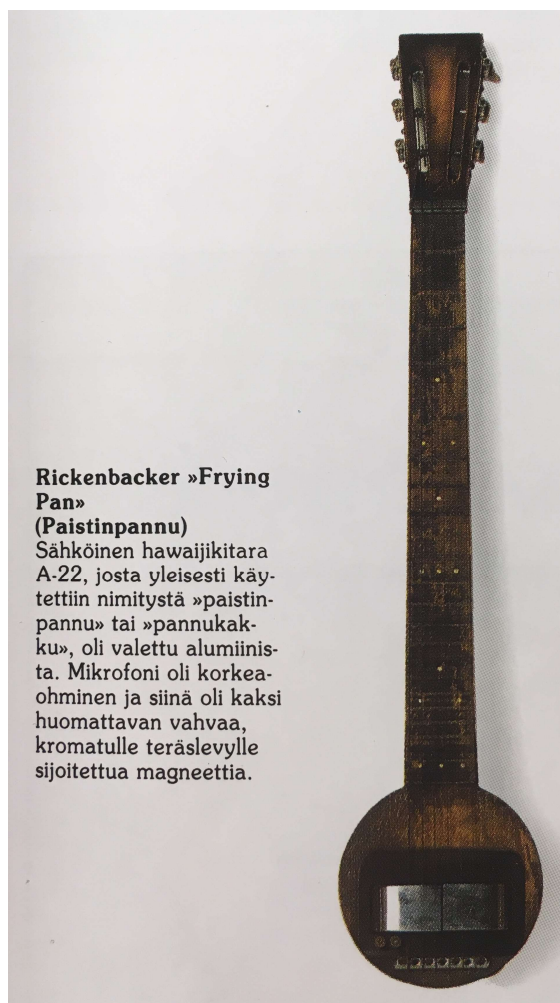
Puisten sähkökitaroiden historiaa tarkastellessa huomaa muutosten tulleen tarpeen saanelemina. Käytettävyyden parantaminen, äänenvoimakkuuden lisääminen ja häiriöääniä vähentäminen on viitoittanut sähkökitaroiden muotoutumista nykyiseen muotoonsa.

Tässä luvussa esiintyvistä kitaroista suurinta osaa valmistetaan nykyään lähes muuttomattomina [2, s.54 - 59].

2.2 Alumiiniset sähkökitarat

Alumiini on kitaroissa harvemmin käytetty materiaali, joskin ensimmäinen sähköistetty kielisoitin olikin alumiinista valmistettu. Kyseessä on Rickenbackerin hawaijikitara, vuonna 1931 julkistettu A-22 (kuva 5). [2, s. 55.]

Vaikka kyseessä onkin metalliputkella pullonkaulatyyllillä soitettava lappeellaan makaava kitara, oli se ensimmäinen kielisoitin, jonka sointi perustui sähköiseen vahvistukseen. Soitin oli valettu kokonaan alumiinista, ja siinä oli yksi tehokas mikrofoni sijoitettuna tallan läheisyyteen. [2, s. 55.]



**Rickenbacker »Frying Pan»
(Paistinpannu)**
Sähköinen hawaijikitara A-22, josta yleisesti käytettiin nimitystä »paistinpannu» tai »pannukakku», oli valettu alumiinista. Mikrofoni oli korkeahminen ja siinä oli kaksi huomattavan vahvaa, kromatulle teräslevylle sijoitettua magneettia.

Kuva 5. Rickenbacker A-22 vuodelta 1931 [2, s. 55].

Alumiinin soveltuvuutta soitinrakennukseen tutki myös Glen Burke. Vuonna 1960 hän valmisti tiedettävästi ensimmäisen alumiinikaulaisen kitaransa. Kitarassa oli ontto alumiinikaula, joka ulottui koko kitaran läpi. Puinen runko oli kiinnitetty kaulan sivuihin ja otelauta oli puinen (kuva 6). Kitara oli rakennussarja, ja tästä syystä kaikki vielä olemassa olevat mallit eroavat pintakäsittelynsä ja osiensa osalta. [7.]



Kuva 6. Glen Burken rakennussarjasta valmistettu alumiinikaulainen kitara [8].

Koneistaja ja osa-aikainen musiikinopettaja John Veleno päätti 60-luvulla ystävänsä ehdotuksesta valmistaa oman alumiinisen sähkökitaransa. Vuonna 1967 valmistunut täysalumiininen kitara ei saanut hyväksyntää paikallisissa musiikkipiireissä. 70-luvulla Velenon kitarat kuitenkin saavuttivat kitaristien huomion ja niitä soittivat nimekkäät artistit Marc Bolanista Martin Barreen. [9.]

Velenon valmistama kitara koostui yksiosaisesta pulttikiinnitteisestä kaulasta sekä kaksiosaisesta rungosta. Rungon puolikkaat oli koneistettu ja tällä tavoin massaa oli saatu

vähennettyä (kuva 7). Veleno tarjosi tämän mallin lisäksi myöhemmin muita variaatioita ja erikoistilauksina valmistettuja täysalumiinisia kitaroita. [9.]



Kuva 7. John Velenon valmistama täysalumiininen sähkökitara 70-luvulta [10].

Travis Bean Guitars julkisti oman alumiinikaulaisen kitaramallinsa vuonna 1974. Kyseisessä kitarassa oli alumiininen kaula, joka ulottui talleen asti. Tämä mahdollisti mikrofonien kytkennän suoraan alumiinipalkkiin, tavoitteena siirtää alumiinissa kulkevat kielten värähtelyt muuttumattomina ulostulolle. Otelauta sekä kaulaan kiinnittyvä runko näissä oli puuta ja mikrofoneina usein kaksikelaiset mallit (kuva 8). [11.]



Kuva 8. Travis Bean TB1000A Artist Natural 1978 [11].

Travis Beanin kitaroita ihaileva Kevin Burkett huolestui kyseisten kitaroiden rajallisesta saatavuudesta sekä alati nousevista hinnoista ja päätti tarttua toimeen. Vuodesta 2003 lähtien hänen yhtiönsä Electrical Guitar Company on tarjonnut täysalumiinisia kitaroita. Kitaroissa on mikrofonit ja talle kiinnitetty rungon läpi kulkevaan kaulaan, johon myös rungon puolikkaat on kiinnitetty (kuva 9). Täysalumiinisten kitaroiden lisäksi yhtiö tarjoaa myös akryyli- sekä puurunkoisia alumiinikaulaisia kitaroita. [11.]



Kuva 9. Electrical Guitar Companyn valmistama täysalumiininen Tyranny [11].

Muita alumiinikaulaisten ja/tai -runkoisten sähkökitaroiden valmistajia ovat: Kramer, Obstructures, Specimen sekä Normandy Guitars [11]. Näiden kitaroiden rakenteet vastaavat suuresti aiemmin mainittujen kitaravalmistajien käyttämiä rakenteita.

Alumiinisten sähkökitaroiden historian määrittelevänä tekijänä on ollut käytännöllisyys, soitettavuus ja kiinnostus materiaalin mahdollisuuksiin soittorakennuksessa [11].

2.3 Komposiittivalmisteiset sähkökitarat

Lasikuituiset sähkökitarat tekivät debyyttinsä vuonna 1962, Valco Guitarsin tuodessa markkinoille ensimmäiset mallinsa. Näissä puinen kaula oli yhdistetty lasikuituiseen runkoon, jonka keskellä kulki kaulan suuntaisesti vaahterapalkki tukevoittamassa rakennetta (kuva 10). Lasikuidusta povattiin helppoalvalmisteista materiaalia mutta käytäntö osoitti toisin. Kitaroiden hinnan ja heikon kysynnän takia yhtiö ajautui konkurssiin vuonna 1968, ja lasikuituiset kitarat jäivät unholaan vuosiksi. [12.]



Kuva 10. Valcon valmistama Airline Resoglass $\frac{3}{4}$ scale vuodelta 1965 [12].

1960-luvun lopulla akryyli yleistyi materiaalina huonekaluissa sekä koruissa ja tästä mahdollisesti johtuen myös akryylirunkoinen kitara päätyi markkinoille. Ampeg valmisti yhteistyössä kitaristi Dan Armstrongin kanssa sähkökitaran, jossa oli puukaula yhdistettynä läpinäkyvään akryylirunkoon (kuva 11).

Kyseinen kitaramalli löysi tiensä muun muassa Keith Richardsin sekä Paul McCartneyn käsiin. Amegin ja Dan Armstrongin yhteistyö loppui katkerasti vuonna 1970, ja tämän jälkeen mallista on tehty monta uudelleenjulkaisua kysynnän takia. [12.]



Kuva 11. Amegin valmistama Dan Armstrong [13].

Oman näkemyksensä sähkökitarasta esitti Ned Steinberger vuonna 1979. Kitaran kaula sekä runko oli valmistettu grafiitin ja hiilikuidun seoksesta. Futuristinen kitara voitti palkintoja muotokielensä ja rakenteensa takia (kuva 12). Joskin kitarat olivat suosittuja, osoittautuivat ne kalliiksi valmistaa, ja 80-luvun lopulla Gibson osti yhtiön. [12.]



Kuva 12. Steinberger L Series GL-2 [12].

Komposiittirakenteisia kitaroita ovat edellä mainittujen lisäksi valmistaneet myös Danelectro sekä Flaxwood. Molempien valmistajien kitararakenteissa on hyödynnetty puukuitua. Danelectron malleissa puukuitua käytettiin puun kanssa rungoissa, ja Flaxwood puolestaan hyödyntää puukuitua kaulassa sekä rungossa. Flaxwood valmistaa tänä päivänä kitaroita samalla rakenteella. [14, 15.]

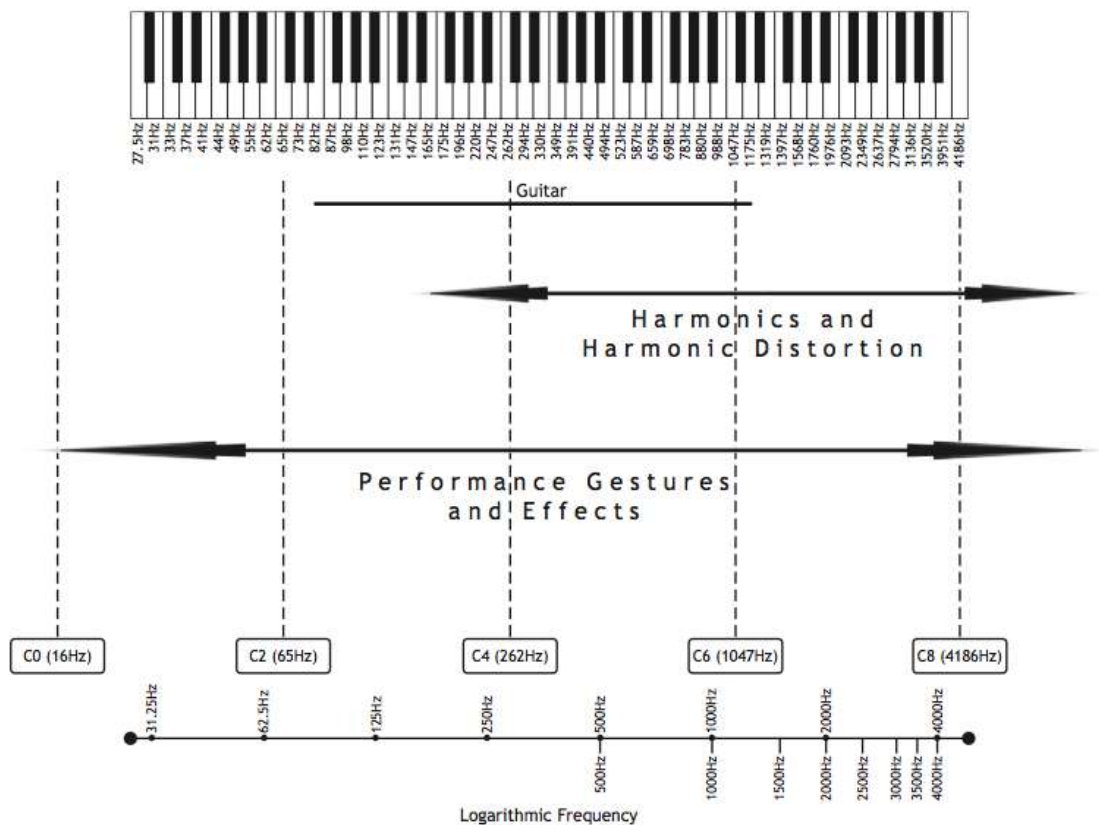
Komposiittirakenteisten sähkökitaroiden kohdalla historia on koostunut kokeilunhalusta, kustannustehokkuuden ja materiaalin yhdenmukaisuuden parantamisesta. Komposiittirakenteisten sähkökitaroiden kohdalla valmistustehokkuus ja valmistuskustannukset ovat useimmissa kokeilussa päättyneet vähemmän toivotusti. [12.]

3 Sähkökitaran toimintaperiaate ja rakenne

Sähkökitaran toimintaperiaatteen ja rakenteen tunteminen ovat suunnittelun kannalta keskeisiä aiheita. Luvussa 3.1 käydään läpi kiteytetysti sähkökitaran äänentuotto ja siihen vaikuttavat seikat. Luvussa 3.2 puolestaan tarkastellaan sähkökitaran rakennetta ja osien vaikutusta toisiinsa.

3.1 Äänentuotto

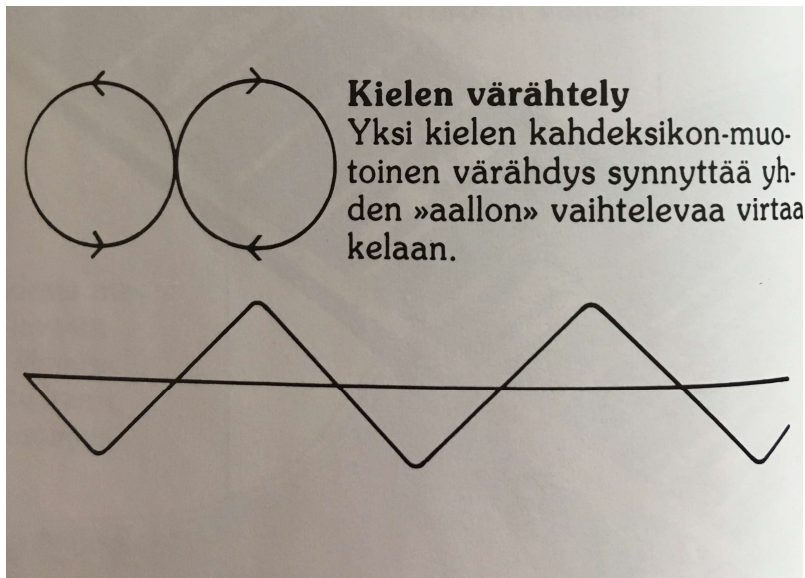
Sähkökitarassa ääni syntyy kielten aiheuttamasta värähtelystä. Värähtely on aaltoliikettä ja kielen soiva taajuus riippuu kielen kireydestä sekä massasta. [16.] Tästä johtuen kitaran kuusi saman mittaista kieltä ovat eri paksuisia. Kielet soivat eri taajuuksilla keskenään ja tämä mahdollistaa kitaristille noin 80 Hz – 1200 Hz taajuusalueen (kuva 13) [17].



Kuva 13. Kitaran taajuus pianoon verrattuna [17].

Kitarassa on nauhoitettu otelauta ja tällä tavoin kunkin kielen värähtelevän pituuden pysyy lyhentämään painamalla kielen kiinni nauhaan. Nauhojen sijoittelu riippuu käytössä olevasta skaalasta eli vapaana soivan kielen pituudesta sekä halutuista sävelaskelista. Sähkökitaroissa on pääosin käytössä länsimainen jaotus puolikkaiden sävelaskelien välein. [18.]

Sähkökitarassa kielten värähtely muuttuu mikrofonissa vaihtovirraksi (kuva 14). Mikrofonissa oleva magneetti synnyttää ympärilleen magneettisen kentän ja rautapitoisten kielten värähdellessä, mikrofonissa olevaan kelaan syntyy sähköenergiasykyä. Värähtelyjen aiheuttamat sähköenergiasykykset vietään vahvistimelle ja tällä tavoin saadaan aikaan ääntä. [2, s. 52.]



Kuva 14. Kielen värähtelyjen vaikutus mikrofoniiin [2, s. 52].

3.2 Sähkökitaran rakenne

Sähkökitaran rakenne sekä osat on esitelty kuvassa 15. Kuvassa myös akustinen kitara havainnollistamassa rakenteiden yhtäläisyyksiä ja eroavaisuuksia.



Kuva 15. Sähkökitaran sekä akustisen kitaran rakenne [19].

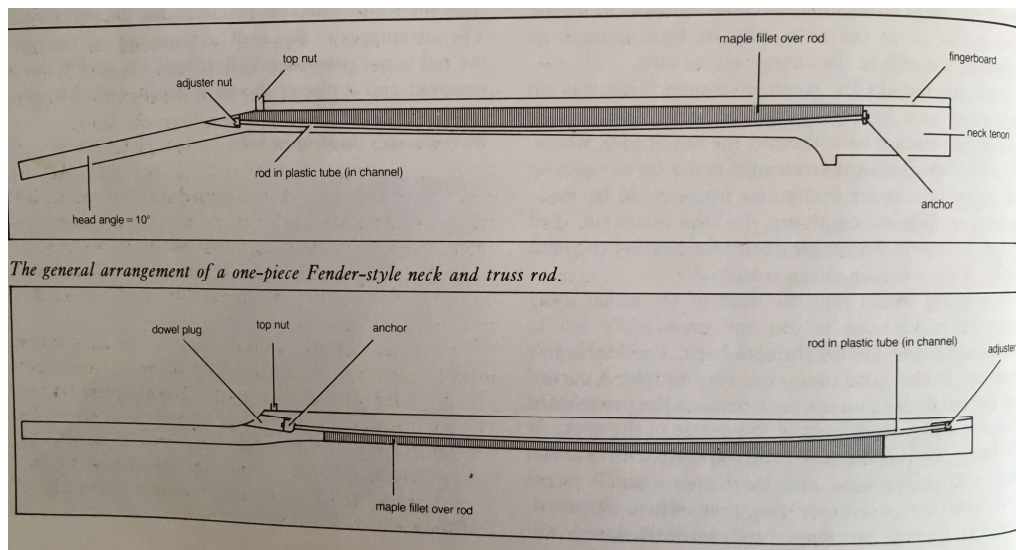
3.2.1 Kaula

Kaula on kitaran rakenteellinen osa, joka on kiinnitetty runkoon. Kaula voi olla yhdestä tai useammasta osasta valmistettu. Siihen kiinnittyy virittimet sekä otelauta, tosin otelauta voi myös olla yhtä osaa kaulan kanssa. Puisissa kitaroissa kaulan sisällä sijaitsee kaularauta, joka estää kaulan taipumista kielten kohdistaman jännityksen alla. [20, s. 51.] Kielet kohdistavat n 47 kg:n jännityksen kaulaan [21], tämä vaihtelee tosin riippuen kielten paksuudesta, vireestä ja skaalan pituudesta.

Kielten jännityksen vaikutusta kaulaan havainnollistetaan Singerin toimesta lähteestä 22 löytyvällä videolla. Videolla käydään läpi, miten kaula käyttäytyisi ilman kaularautaa, kun siihen kohdistettaisiin kielten jännitys/veto.

Kaularaudan kireys on säädettävissä ilmankosteuden ja käytössä olevan kielisetin mukaan. Kaularaudan säätö sijaitsee kaulan ylä- tai alapäässä riippuen rakenteesta. Alumiinikaulaisissa kitaroissa ei ole kaularautaa, materiaalin suuremman vakauden takia

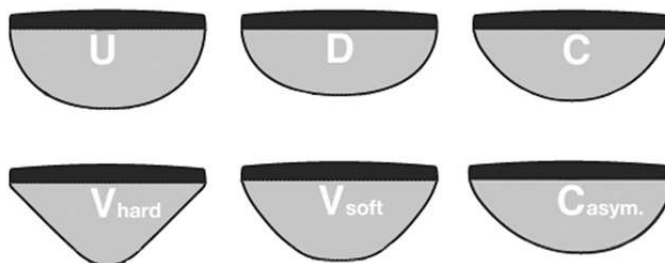
[20 s. 51]. Kaularaudan sijainti kaulassa vaihtelee hieman valmistajien kesken ja kuvassa 16 on esitelty muutama tapa kaularaudan sijoittelulle.



Kuva 16. Kuvassa ylhäällä Gibsonin käyttämä kaularaudan sijoittelu ja alhaalla vastaavasti Fenderin tapa sijoittaa kaularautaa kaulaan [20, s. 52].

Kaulassa on kiinni virittimet, joilla kielten kireyttä ja täten virettä säädetään. Virittimet sijaitsevat usein 6 yhdellä puolen lapaa tai jaotellusti 3 vasemmalla ja 3 oikealla puolen. Fendereissä virittimet sijaitsevat usein yhdellä puolen lapaa, kun puolestaan Gibsonissa jaotellusti molemmin puolin.

Kaulan takapuoli on muotoiltu käteen istuvaksi ja muodosta löytyy montaa eri variaatiota. Kuvassa 17 on esiteltynä kaulaprofiileja. Yleisimmin käytetty kaulaprofiili on C-malli, käytännössä tämä muoto on puolikas ovaalista [23].

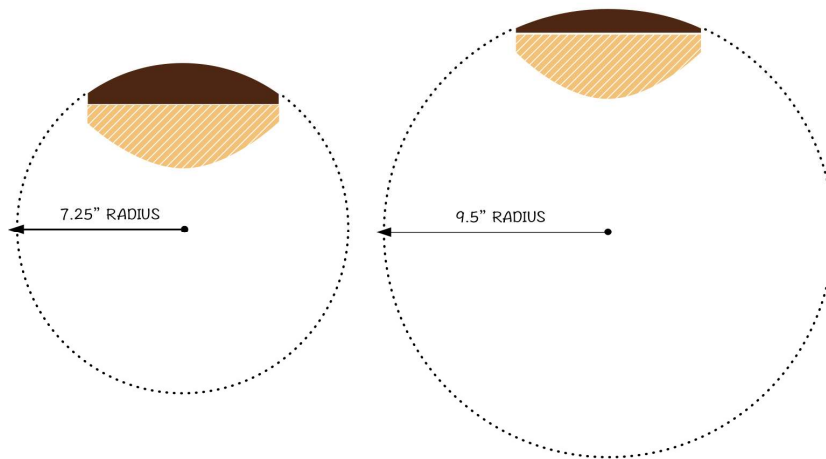


Kuva 17. Esimerkkejä kaulaprofiileista [23].

3.2.2 Otelauta

Otelauta sijaitsee kaulan etupuolella ja kielten alla. Otelaudassa sijaitseviin uriin on kiinnitetty otelautanauhat. Nauhaa on saatavilla nikkelisenä, seokset vaihtelevat valmistajien mukaan, sekä ruostumattomasta teräksestä valmistettuna. Otelaudoissa on usein upotukset merkitsemässä soittoasennon paikkaa, osaltaan tämä on myös ulkonäköseikka. [20, s. 56 – 65.]

Otelaudan pinta on sähkökitaroissa enimmäkseen kupera soittomukavuuden parantamiseksi. Esimerkiksi Fenderin kitaroissa otelaudan kuperaus vaihtelee säteen arvosta 7.25 tuumaa (18 cm) – 15.75 tuumaan (40 cm) [24]. Kuvassa 18 on esiteltynä kuperauden arvon vaikutus muotoon.



Kuva 18. Otelaudan kuperauden arvon vaikutus muotoon [24].

Otelaudan yläpäätyyn liitetään satula, joka on vapaana soivan kielen alkupiste. Satulassa on urat kielille, ja se lepää urassa. Ura voi olla otelaudassa tai kaulaosuudessa. [2, s. 51.]

3.2.3 Runko

Sähkökitaran runko on kitaran rakenteen osa, johon kaulan (kuva 19) lisäksi kiinnitetään talle, mikrofonit, elektroniikka, hihnatapit ja mahdollinen plektrasuojus. Elektroniikkaonkalo sijaitsee rungon etu- tai takapuolella riippuen mallista. Etupuolella sijaitsevan elektroniikkaonkaloa peittää plektrasuojus, johon elektroniikka on kiinnitetty.



Kuva 19. Erilaisten kaulaliitosten tyypit [2, s. 51].

Rungon tehtävä yksinkertaisuudessaan on toimia kaulan jatkeena ja kiinnityspisteenä tallalle. Rungon massa sekä rakenne vaikuttavat sointiin, tosin sähkökitarassa suuri osa rungon tehtävästä on ulkonäköä ja soittomukavuuden parantamista. [2, s. 50.]

4 Suunnittelun esityö

4.1 Käyttäjän vaatimukset

Suunnittelutyön perustana oli selvittää suunniteltavan tuotteen vaatimukset ja toiveet käyttäjän näkökulmasta. Suunniteltavan kitaran rakenteen perustana toimikin kolme erilaista pulttikaulaista kitaraa, joista valittiin kustakin hyväksi havaitut piirteet. Näiden kitaroiden mitoituksen ja ominaisuuksien kautta pystyi laatimaan raamit suunnittelutyölle.

Suunniteltavan tuotteen vaatimukset koostuvat suunnittelijan omista tarpeista ja subjektiivisista näkemyksistä.

4.1.1 Aika Oranssi

Kuvassa 20 näkyvällä kitaralla on seuraavat ominaisuudet:

- 25.5 tuumaa (648 mm) pitkä skaala
- kaulan kiinnitys runkoon neljällä ruuvilla
- kaksi kaksikelaista mikrofonia
- kolmiasentoinen mikrofoniavalitsin
- U-mallinen, tuhti kaulaprofiili
- 42 mm leveä kaula satulan kohdalla
- reilut pyöritykset rungon reunoissa.



Kuva 20. Stratocaster-rakennussarjasta valmistettu kitara, mallinimeltään Aika Oranssi.

Näistä yllä mainituista ominaisuuksista skaalan pituus, kaulaprofiili sekä rungon reilut pyöristykset olivat miellyttäviä piirteitä. Skaalan pituus mahdollistaa ilmavan tuntuman vasemmalle kädelle ja kielten kireys 46-10 sekä 49-11 kielisarjoilla on sopivan napakka.

Tuhti U-mallinen kaula istuu käteen ja tuntuu jämerältä soittaessa. Kaulan leveys satulan kohdalla on myös soittomukavuutta tuova tekijä. Rungon reunoista löytyvät pyöristykset lisäävät soittomukavuutta oikealle kädelle ja saavat rungon näyttämään solakalta. Yläsarvessa oleva hihnatapin kiinnitys takakanteen ei miellyttänyt ja tämän takia suunnittelussa hihnatappi sijoitetaan yläsarveen kaulan suuntaisesti.

4.1.2 JA-60

Kuvassa 21 näkyvällä kitaralla on seuraavat ominaisuudet:

- 25.5 tuumaa (648mm) pitkä skaala
- kaulan kiinnitys runkoon neljällä ruuvilla
- kaksi yksikelaista mikrofonia
- kolmiasentoinen mikrofonivalitsin
- tune-o-matic-tyylinen kiinteä talle
- erillinen kytkin mikrofonien sarjaan kytkentään
- U-mallinen, tuhti kaulaprofiili
- 42 mm leveä kaula satulan kohdalla
- 1 asteen kaulakulma runkoon nähden.



Kuva 21. Jazzmaster -kopio, mallinimeltään JA-60.

Tässä kitarassa etenkin kiinteä talla, elektroniikka sekä säätimien sijoittelu, kaulaprofiili ja painopiste miellyttivät. Kiinteä talla ja n. 10 cm päähän siitä sijoitettu kieltenpidin vaikuttavat äänimaailmaan hieman ja mahdollistaa kielten soittamisen myös tallan takaa. Säätimien ja kytkinten sijoittelu on looginen ja helposti oikean käden ulottuvilla.

Kitaran painopiste on lähes optimaalinen. Hieman pidemmällä yläsarvella ja lyhentämällä runkoa peräpäätä, painopiste olisi mahdollisesti juuri sopiva. Kaksi matalatehoista yksikelaista mikrofonia antavat kirkkaan sekä rouhean äänimaailman ja ovat monipuoliset käyttää.

4.1.3 Squier Bullet Mustang

Kuvassa 22 näkyvällä kitaralla on seuraavat ominaisuudet:

- 24 tuumaa (610 mm) pitkä skaala
- kaulan kiinnitys runkoon neljällä ruuvilla
- kaksikelainen kaulamikrofoni ja yksikelainen tallamikrofoni
- kolmiasentoinen mikrofonivalitsin
- kevyt ja ohut (34 mm) runko, kiinteä talla
- C-mallinen, ohut kaula.



Kuva 22. Muokattu Squier Bullet Mustang.

Tämän kitaran ohut runko ja solakka ulkomuoto olivat miellyttäviä piirteitä. Mikrofonionkalo tässä kitarassa on allasmallinen ja vaikuttaa rungon mitoituksen lisäksi keveyteen. Mikrofonionkalo myös lisää soittimen akustisia ominaisuuksia jossain määrin.

Myös kiinteä talle on tämän kitaran hyviä piirteitä, joskin kaula on asemoitu linjaan kannen kanssa ja tämä puolestaan aiheuttaa rajoitetun olon säestävälle kädelle. Tästä johtuen kitaraa suunniteltaessa kaulakulmaksi asetetaan soveltuva arvo väliltä 1 – 3.

4.1.4 Käyttäjän vaatimukset listattuna

Kitaroiden tarkastelun perusteella suunniteltavan tuotteen vähimmäisominaisuuksiksi valikoituivat seuraavat:

- täysalumiininen rakenne, mukaan lukien alumiininen plektrasuojus
- 25.5 tuuman (648 mm) skaala
- 42 mm leveä satula
- kaulakulma 1 – 3 astetta
- kiinteä tune-o-matic-tyylinen talle erillisellä kieltenpitimellä
- plektrasuojus johon elektroniikka kiinnitetään
- kaksi matalatehoista P90-tyylistä mikrofoonia
- kolmiasentoinen mikrofonivalitsin
- äänenvoimakkuuden ja -värin säätimet
- kokonaismassa osineen alle 5 kg, osien massa arviolta 1 kg.

Täysalumiininen rakenne on suunnittelutyön kulmakivi. Kaikki rungon rakenteelliset osat (otelauta, kaula ja runko) tulee olla valmistettu alumiinista. Skaalan pituudeksi on valikoitunut 25.5 sekä satulan leveydeksi 42 mm, johtuen suunnittelijan mieltymyksestä kyseisiin ominaisuuksiin. Kaulakulma johtuu osittain halutusta tallamallista sekä preferenssistä kevyeen kaulakulmaan.

Plektrasuojukseen kiinnitettävä elektroniikka johtuu käytännöllisyydestä. Kaikkien elektroniikkakomponenttien ollessa samalla puolella runkoa niiden vaihtaminen ja muokkaus on kätevää. Plektrasuojus myös kiinnitetään rungon pintaan, täten rungosta voi tehdä mahdollisimman ohuen.

Mikrofonien, elektroniikkakomponenttien sekä tallan valintaan vaikuttavat niiden kohtalainen saatavuus ja haluttu äänimaailma. Kokonaisuudessa on rajoitettu 5 kg, johtuen suunnittelijan tietämyksestä, että tätä isomman massan omaavat kitarat ovat rajoitteellisia käyttömukavuudeltaan.

Toivottuja ominaisuuksia ovat seuraavat:

- rungon paksuus 35 mm
- rungon pituus noin 440 mm
- yläsarven ulottuvuus noin 14:n otelautanauhan kohdalle
- tuhti U-mallinen kaula
- otelautanauhat ruostumatonta terästä
- reilut pyöritykset kanteen
- allastyylinen mikrofonionkalo
- virityskoneistot rivissä yhdellä puolen lapaa
- lapa tasossa kaulan kanssa

Vähimmäisvaatimusten ohella edellä on listattu suunniteltavassa kitarassa toivottuja piirteitä. Rungon paksuus 35 mm perustuu JA-60:n rungon paksuuteen. Rungon pituus ja yläsarven ulottuvuus perustuvat JA-60:n hyväksi havaittuun painopisteeseen.

Tuhti U-mallinen kaula on toivotuista piirteistä suurimmalla painotuksella, johtuen siitä, että kaulaprofiili vaikuttaa suuresti soitettavuuteen. Otelautanauhat tehdään käytännöllisyyden takia ruostumattomasta teräksestä, jotta ne kestävät mahdollisimman pitkään.

Reilut pyöritykset kannessa lisäävät käyttömukavuutta ja vaikuttavat myös rungon ulkonäköön. Reiluin pyöritys toivottu kohtaan, jossa säestävä käsi osuu runkoon. Allastyylinen mikrofonionkalo on massan ja akustisen soivuuden kannalta toivottu ominaisuus.

Kaulan kiinnitys pultein, rungon läpi tai jotain siltä väliltä. Kaulan kiinnitystapa määräytyy laitteiston mukaan, jolla tuote valmistetaan. Sen pohjalta, miten pitkä aihio laitteistolla on työstettävissä, määritetään kaulan kiinnitystapa. Toiveena lavan muotoilussa on, että virityskoneistot olisivat rivissä ja lapa tasossa ilman kulmaa.

Valmistusteknillisiä rajoitteita pohtiessa oli selkeytynyt, että hitsausta tai muita lämpöä työstettävään esineeseen tuottavia työstötapoja tuotteen valmistuksessa ei käytettäisi. Lämpö saattaisi vaikuttaa rakenteiden muotoon ja suoruuteen negatiivisesti. Esimerkiksi kaulan kohdalla tämä voisi pahimmillaan aiheuttaa huonon soitettavuuden.

4.2 Laitteiston rajoitukset

CNC-koneistaminen vaikutti vaihtoehdolta, jolla voisi valmistaa komponentit mittatarkasti ja luotettavasti. Laitteistoksi valikoituikin pystykarainen kolmiakselinen Quaser MV154P. Karan liikerata on x-suunnassa 700 mm, y-suunnassa 500 mm ja z-suunnassa 500 mm. Suurin syy tämän laitteiston valintaan oli karan liikerata x-suunnassa, joka mahdollistaa ainakin pulttikiinnitteisen kaulan valmistamisen (kaulan mitta noin 660 mm).

Quaserin karan kierrosnopeus maksimissaan on 12 000 kierrosta minuutissa. Tyydyttävän työstöjäljen saavuttamiseksi terille vaaditaan terämateriaalista riippuva lastuamisnopeus.

$$n = \frac{V_c * 1000}{\pi * D} \quad (1)$$

Karannopeuden kaava: n merkkää karannopeutta, Vc lastuamisnopeutta ja D terän halkaisijaa.

Karannopeuden kaavaa (1) tarkisteltaessa huomaa, että lastuamisnopeuden ja karannopeuden lisäksi ainoa muuttuva arvo on terän halkaisija. Tästä johtuen kyseisellä laitteistolla hyvän työstöjäljen pystyy vaivatta aikaansaamaan halkaisijaltaan 6 mm ja sitä isomalla terällä. Laboratoriosta löytyy useampia terämalleja halkaisijaltaan vähintään 6 mm, jotka soveltuvat kyseisen tuotteen valmistukseen.

Quaserin liikeradat tehdään Powermill-ohjelmistolla. Koululla on Powermilliin Delcam Exchange -lisäosa, jolla saa muutettua Catiassa tehdyt 3D-mallit Powermillissä hyödynnettäviksi. Catiasta tuotujen mallien pohjalta voidaan täten luoda työstöradat Powermillillä.

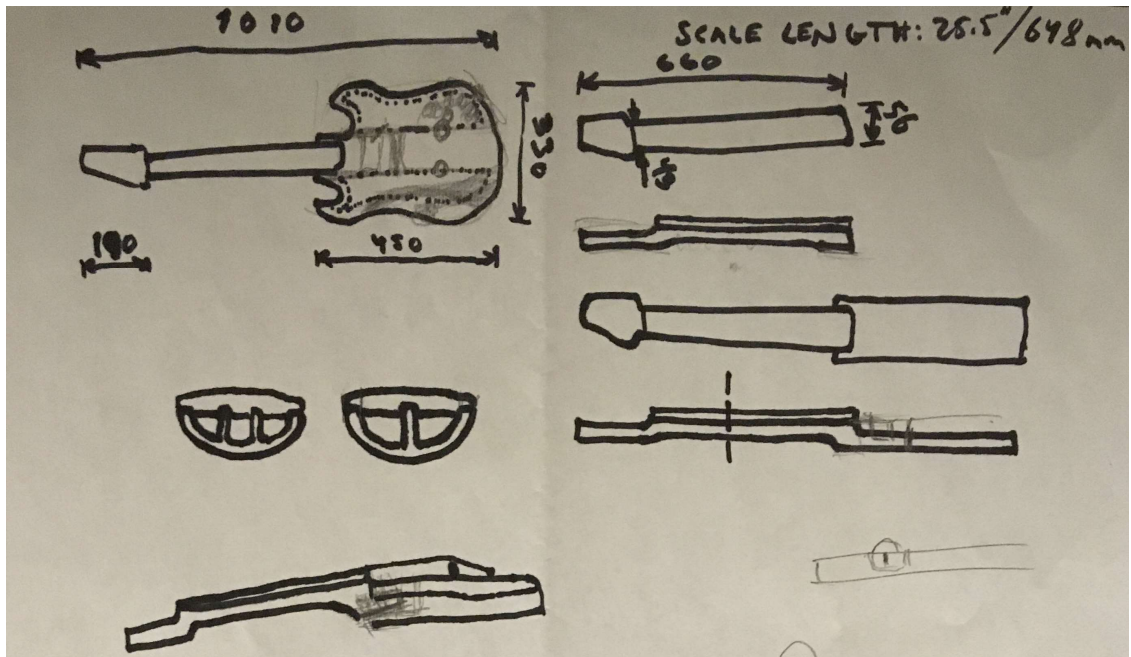
Ohuesta alumiinista (1 - 3 mm) valmistettavan plektrasuojuksen valmistustapaa suunniteltaessa saatiin tietää, että Metropolia Workshopissa Espoon Koskelossa löytyvällä plasmaleikkurilla tämän teettäminen todennäköisesti onnistuisi. Plasmaleikkurin liikeratojen suunnitteluun tarvittavat mallit saa luotua myös Catialla, tämä puolestaan vaikutti plasmaleikkauksen valikoitumiseen tavaksi valmistaa plektrasuojus.

5 Luonnostelu

5.1 Rakenne

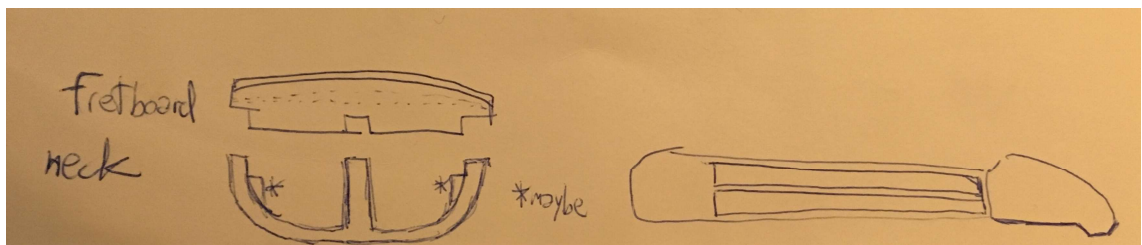
Esitietojen jälkeen suunnittelun vaiheena oli kitaran luonnostelu. Tavoitteena oli suunnitella massaltaan alle 5 kg:n sähkökitara, joten rakenteen oli oltava ontto mahdollisuuksien mukaan. Kaulan rakennetta miettiessä syntyi idea kaksiosaisesta kaulasta, joka olisi koverrettu ontoksi sisältä.

Kuvassa 23 näkyy kaksi erilaista kaulan ja otelaudan läpileikkausta, näistä yhdellä keskipalkilla toteutettu valikoitui jatkoon. Tässä ideassa otelauta istuu kaulan sisään pari millimetriä holkin tavoin. Keskipalkki toimii tukevoittavana tekijänä ja estää kieltien oletettua jännitystä taivuttamasta kaulaa. Kyseisellä rakenteella pystyy todennäköisesti mahdollistamaan vaaditun tuhdin U-mallisen kaulaprofiilin, pitäen massan silti kurissa.



Kuva 23. Ensimmäinen luonnostelma rungon ja kaulan mahdollisista rakenteista.

Kaulan keskialue valikoitui alustavasti alueeksi, joka kaulasta koverretaan (kuva 24). Kaulan ja rungon liitoskohtaan on jätettävä materiaalia, tosin Catialla suunniteltaessa pystyy arvioimaan kuinka paljon. Lavasta pystyy myös poistamaan materiaalia, jos Cati-alla arvioitu massa ylittää asetetun tavoitteen.



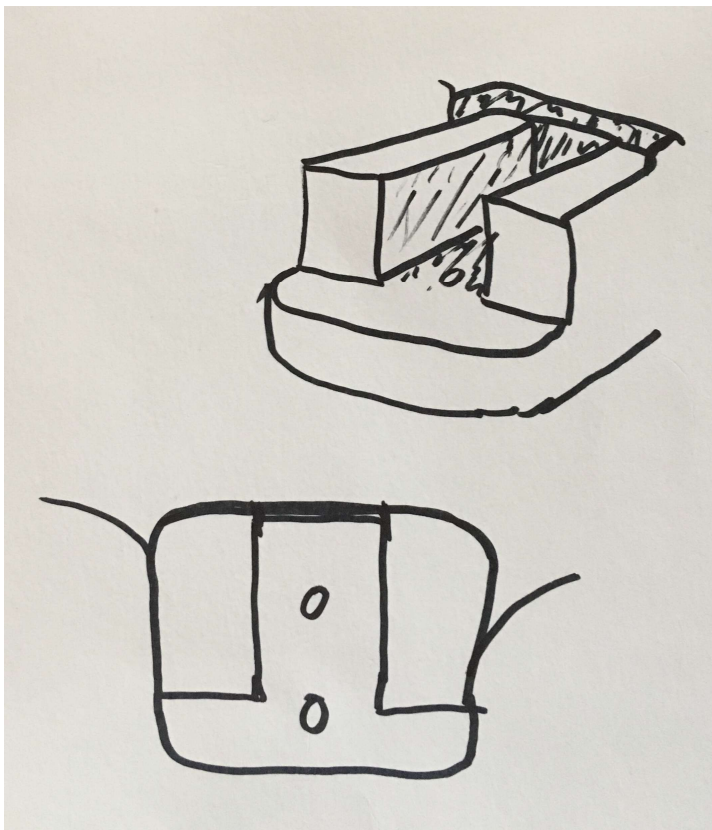
Kuva 24. Otelaudan ja kaulan liitostapa. Oikealla näkyy, mikä osio kaulasta koverretaan.

Otelaudan ja kaulan liitokseen tuntui toimivimmalta ratkaisulta liimaaminen. Tällä tavoin osat ovat kiinteästi kiinni toisissaan ja mahdolliset raot ja epätasaisuudet osien välissä täyttyvät liimasta. Liimattuna toisiinsa osat muodostavat yhden kokonaisuuden, ja kielten värähtelyt siirtyvät rakenteessa mahdollisimman tehokkaasti.

Kuvassa 23 näkyy vasemmassa yläreunassa luonnostelma rungon rakenteesta. Tässä rungon sivut ovat ontot, käytännössä tämän pystyy toteuttamaan poistamalla materiaalia plektrasuojuksen alta. Toisen puolen ontouden puolestaan pystyy toteuttamaan poistamalla materiaalia ja laittamalla päälle ohuesta alumiinista valmistetun kannen. Takakan- nen kiinnitys liimaamalla, sille jyrskityn upotukseen, vaikutti hyvältä. Tällä tavoin pohjan ulkonäkö pysyy virtaviivaisena ja tasainen pohja vaikuttaa soittomukavuuteen.

Kuvan 23 oikealla puolella on luonnoksia pulttikaulaisen kaulan mitoituksesta sekä havainnollistava malli kaulasta, joka menisi rungon läpi. Tosin Quaserin rajoitukset estävät tämän, ja valinta osuu pulttikaulan mittaiseen kaulaan. Kiinnitystapaa miettiessä tuntui melko tylsältä ajatukselta käyttää monissa kitaroissa käytössä olevaa pulttikiinnitystä. Kaulan liimaaminen kuulosti erityisen houkuttelevalta idealta, vähintäänkin kokeilemisen arvoiselta.

Kuvassa 25 näkyvä liitostapa hyödyntää pultteja sekä liimausta. Pultit ovat liitoksessa sen takia että niillä saa kaulan kohdistettua mahdollisimman hyvin. Pulttien avulla voi myös kokeilla kaulan istuvuutta runkoon sekä soivuutta kielten kanssa. Sen jälkeen, kun on todettu kaulan sekä rungon suoruus toisiinsa nähden kielten kanssa, voidaan kaula liimata kiinteästi runkoon kiinni.



Kuva 25. Pohdiskelun jälkeen syntynyt kaulaliitos.

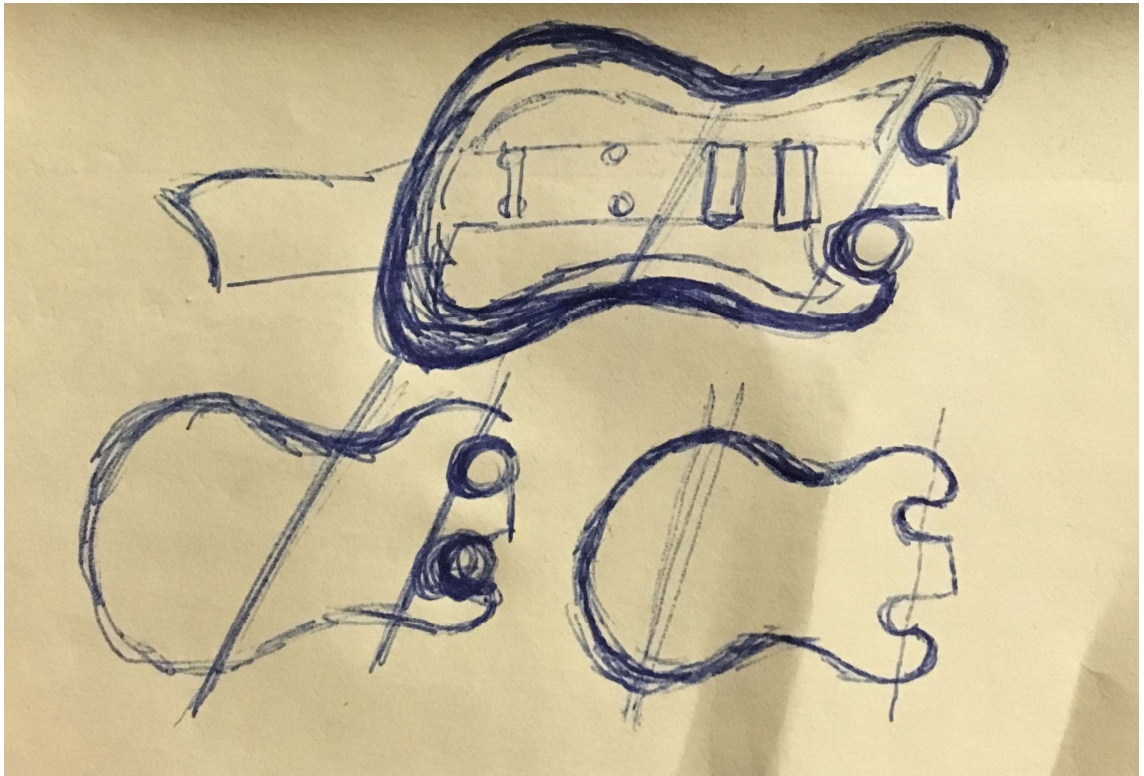
Pulttien kannat jätetään näkyviin tai tarvittaessa kannat leikataan pois. Tilaa liimalle liitoksessa on kaavailtu 0.1 mm, saman verran tilaa liimalle on myös kaavailtu kaulan ja otelaudan liitokseen.

Plektrasuojus tehdään isoksi, jotta se kattaa kitaran alemman puolikkaan ja mikrofonien alueen. Tällä tavoin plektrasuojuksen alta on poistettavissa mahdollisimman paljon materiaalia. Tämä puolestaan vaikuttaa suoranaisesti kitaran massaan. Plektrasuojus kiinnitetään runkoon pulteilla sopivin välein, arviolta noin kymmenestä kohtaa.

5.2 Muoto

Rakenteen suunnittelemista seurasi muodon luonnostelu. Kitaran rungolle oli asetettu joitakin vaatimuksia mitoituksen suhteen, mutta tässä vaiheessa haettiin pätevää ulkonäköä. Ulkonäön suhteen ajatuksena oli kaksilovinen malli ja epäsymmetrisesti toisiinsa

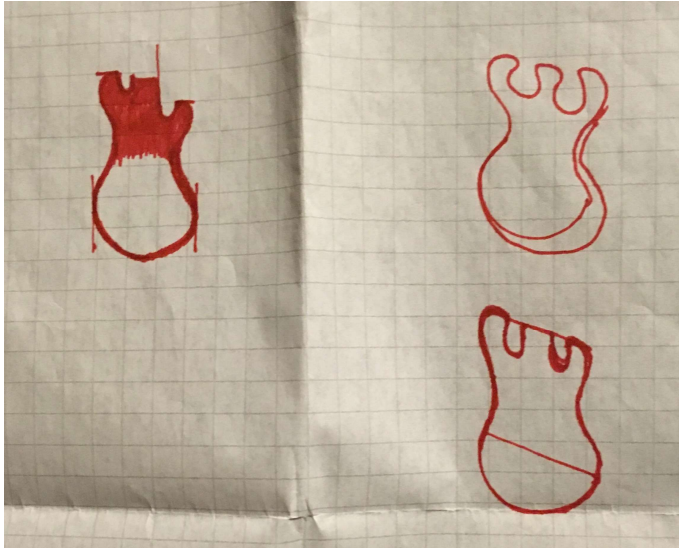
nähdessä olevat rungon puolikkaat. Kuvassa 26 ylin muoto havainnollistaa tätä haettua ulkonäköä, joskin hieman liioitellusti.



Kuva 26. Luonnostelmia rungon muodosta.

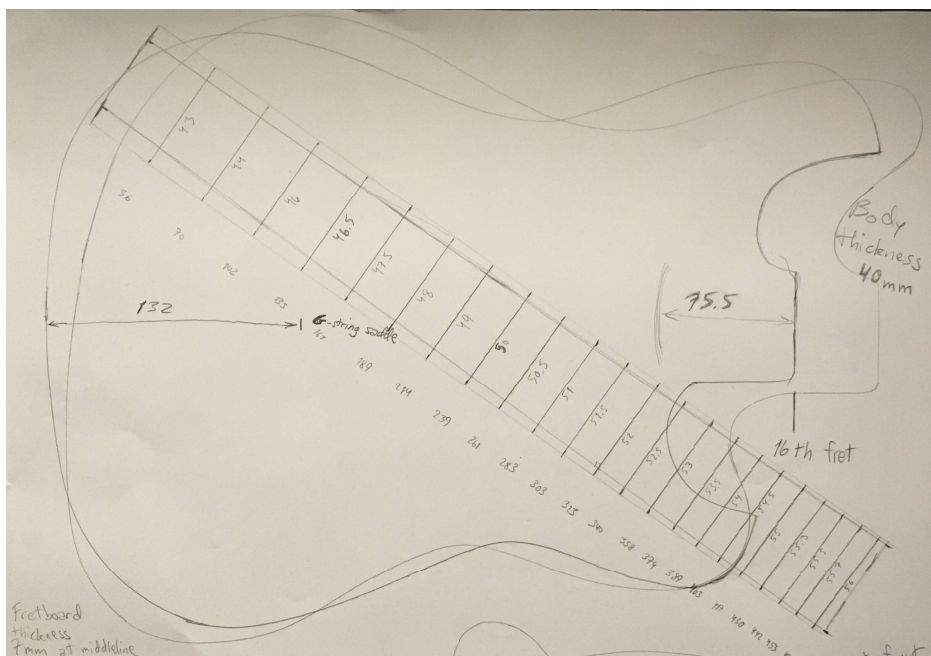
Muodon luonnostelussa suurimmaksi haasteeksi nousi sellaisen muodon löytäminen, joka ei vastaisi jo jotain olemassa olevaa kitaramallia. Kaksilovisia kitaroita on suunniteltu ja valmistettu vuosikymmeniä, joten oletetusti malleja löytyy useita. Pienetkin muodon muuttelut vaikuttavat kohtalaisen paljon kokonaisuuteen.

Kuvassa 27 on muutama luonnostelma lisää, näistä oikealla alhaalla sijaitseva luonnos miellytti, vaikka perä olikin lähes symmetrinen. Tämän pohjalta pystyi etenemään sarvien muotoilun suhteen. Mittasuhteet sarvien, keskellä sijaitsevan kapeamman kohdan ja perän kesken vaikuttavat suuresti siihen, näyttääkö muoto kömpelöltä tai soljuvalta.



Kuva 27. Lisää rungon luonnostelmia.

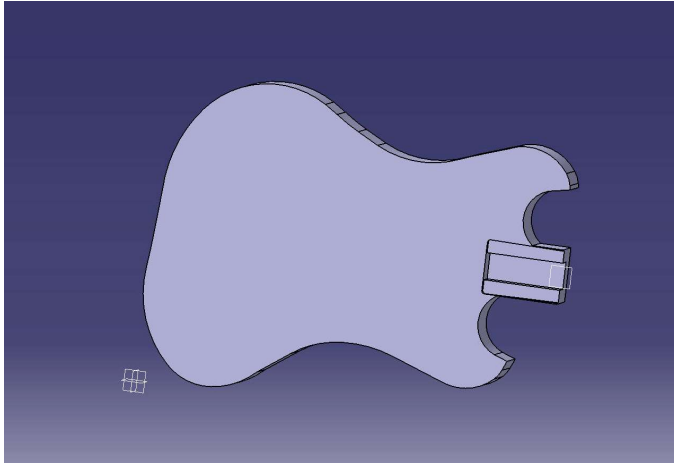
Muotoilun avuksi pitikin tutkia tarkemmin JA-60:n ja Aika Oranssin mitoitusta sekä muotokieltä (kuva 28). Tuntui siltä, että muoto ei halunnut muovautua luonnostelussa sopivaksi näitäkään tutkimalla. Muotoja vertailemalla selvisivät kuitenkin eroavaisuudet sekä yhtäläisyydet näiden muotokieliissä. Näiden havaintojen tekemisen jälkeen tuntui, että haluttu muoto alkoi selkeytymään mielessä.



Kuva 28. JA-60:n ja Aika Oranssin runkojen ulkomuodot luonnosteltuna päällekkäin.

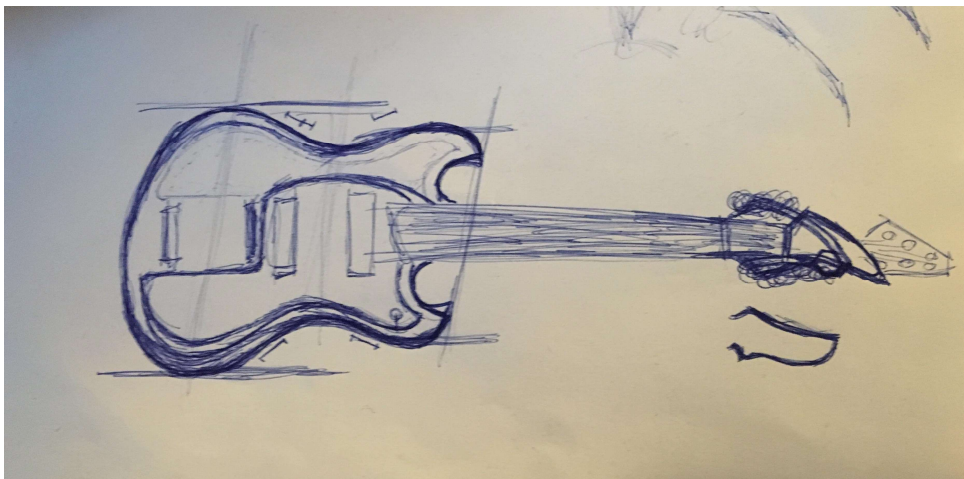
Mittasuhteet JA-60:n rungosta auttoivat perän muotoilun kehittämisessä hyödynnettävään suuntaan. Muotoilua edesautettiin mekaanisen suunnittelun lisäksi Catialla.

Kuvassa 29 on viitteitä lopullisen muodon suuntaan. Kyseisestä kuvasta tosin uupuu pyöristykset reunoista ja ne vaikuttavat suuresti ulkonäköön.



Kuva 29. Catialla luonnosteltu runkomuoto.

Aiempien havaintojen ja kokeilujen perusteella syntyi lopulta melko vaivatta muoto, joka miellytti. Kyseisessä runkomuodossa on epäsymmetrisesti toisiinsa nähden olevat puolikkaat ja kaarevat linjat, muutamaa suoraa viivaa lukuun ottamatta. Kuvasta 30 poiketen sarvien terävä pääty on pyöristetty käyttömukavuutta silmällä pitäen.



Kuva 30. Lopullinen runkomuoto paperille kuulakärkikynällä piirtäen.

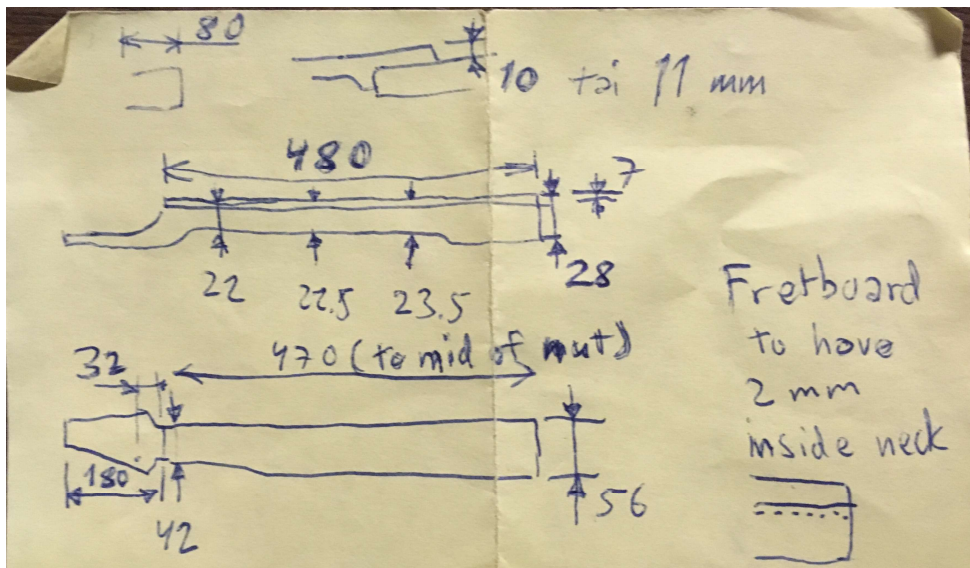
6 Tietokoneavusteinen suunnittelu

Tietokoneavusteista suunnitteluprosessia hyödynnettiin sähkökitaran osien mallinnuksessa. Ohjelmistona toimi jo aiemmin mainittu Catia.

Luvussa 6.1 käydään läpi kaulan vaiheet suunnitteluprosessissa. Luvuissa 6.2 ja 6.3 puolestaan käydään läpi otelaudan sekä rungon suunnitteluprosessia.

6.1 Kaula

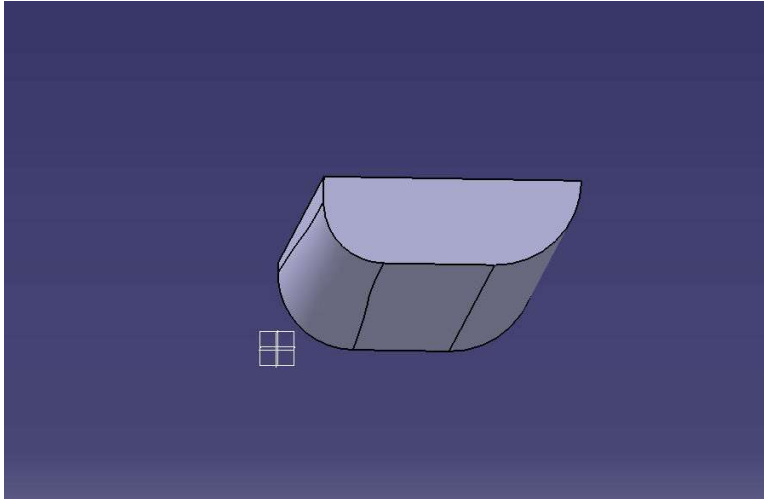
Kaulan suunnittelun perustana oli JA-60:n miellyttäväksi havaittu U-mallinen kaula. Kaulan mitat mitattiin työntömitalla sekä rullamitalla (kuva 31). Kaulan mitoissa oli poikkeamia paksuudessa pitkin kaulaa, ja kaulan paksuus mallinnettiin lineaarisesti paksunevaksi runkoa kohti.



Kuva 31. Kaulan mitat mitattuna pääosin JA-60:n kaulasta.

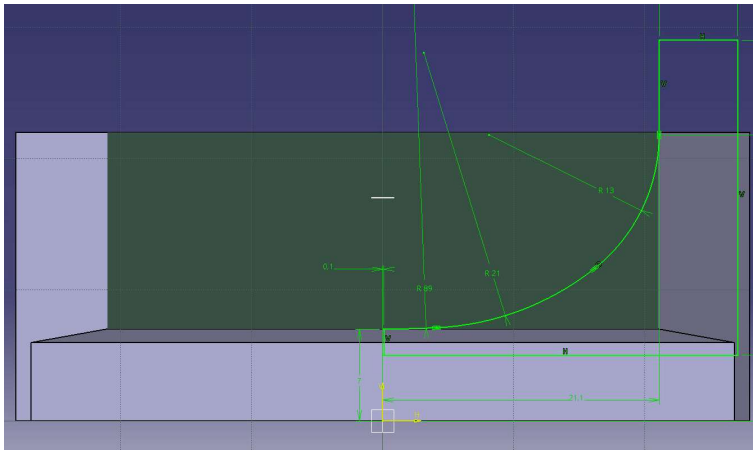
Näiden mittojen avulla pystyi mallintamaan ensimmäisen vaiheen kaulasta, tässä mallissa ei ollut laisinkaan pyöreitä reunoja tai muotoja. Malli toimi aihion tapaisesti ja siihen tehtiin seuraavassa vaiheessa muodot.

Kämmenpuolen muotoa mallintaessa ensin oli tutkittava pystyisikö muodon luomaan pyöristystyökalulla. Pyöristystyökalusta löytyy muutamia eri variaatioita, ja sen hyödyllisyys tässä kohden kiinnosti (kuva 32).



Kuva 32. Kaksi erilaista pyöristystyökalulla tehtyä muotoa.

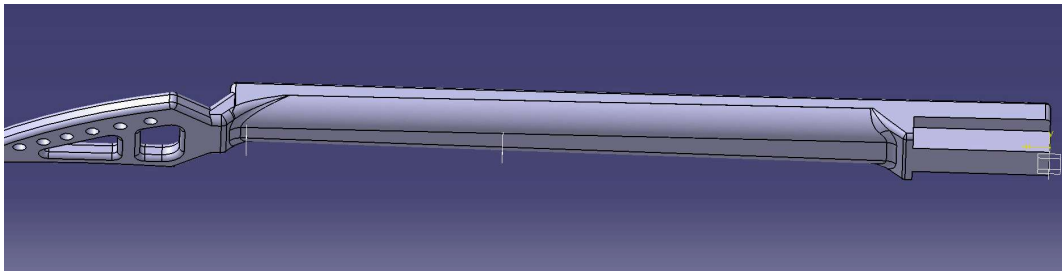
Pyöristystyökalu osoittautui hyödyttömäksi tässä kohden vaaditun muodon luomisessa. Reunat eivät vastanneet muodoltaan millään arvoilla haettua muotoa, joten se oli luotava Slot-toimintoa hyödyntäen (kuva 33).



Kuva 33. Profiilin luomiseen käytetty muotoviiva, joka koostuu kolmesta eriarvoisesta kaaresta.

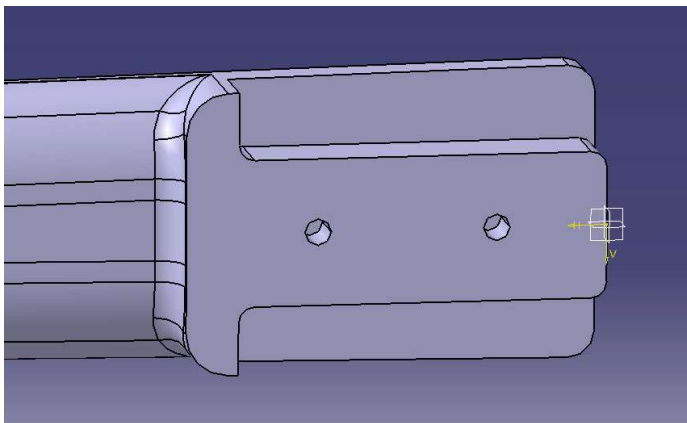
Mallintaessa tämän muodon sujuvaa siirtymää lavalle sekä rungon päädyn liitoskohtaan, tuli kokeiltua erilaisia ratkaisuja. Ongelma joissakin tavoissa oli kömpelö ulkonäkö sekä toimimattomuus muiden kaulan muotojen kanssa.

Kuvassa 34 siirtymien kohdalla oli liikaa materiaalia sekä toimimattomalta vaikuttava rakenne. Tavoitteena oli saada mahdollisimman sujuvat siirtymät, joten tähän tuli hyödynnettyä pyöristystoimintoja. Ne saattavat toimia arvaamattomasti aiempien pyöristysten kanssa, joten aikaa meni parhaimman pyöristysjärjestyksen luomiseen.



Kuva 34. Viistetyt ja pyöristetyt siirtymät lavalle sekä runkoliitokseen mentäessä.

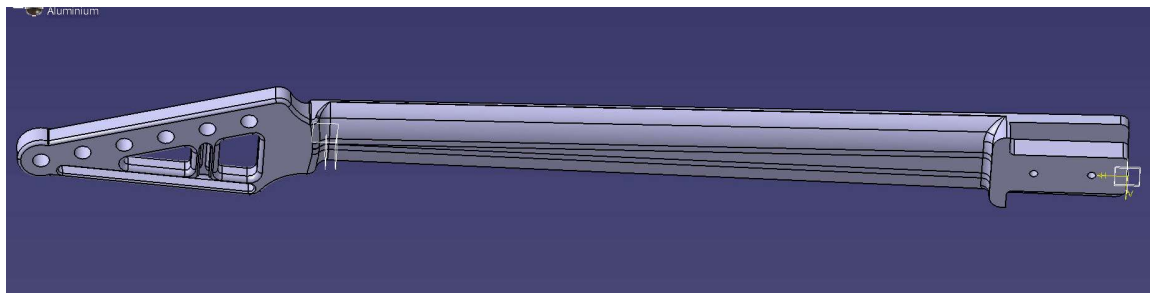
Liitoskohtaa suunniteltaessa mitoitukset perustui osittain pulttikauloissa käytettyihin mittoihin sekä silmämääräisesti järkeviltä vaikuttaviin mittasuhteisiin (kuva 35). Liitoksen mitoitusta miettiessä oli myös huomioitava, kuinka paljon otelaudan haluttiin olevan rungon kansipuolen yllä.



Kuva 35. Kaulan lopullinen liitoskohdan malli.

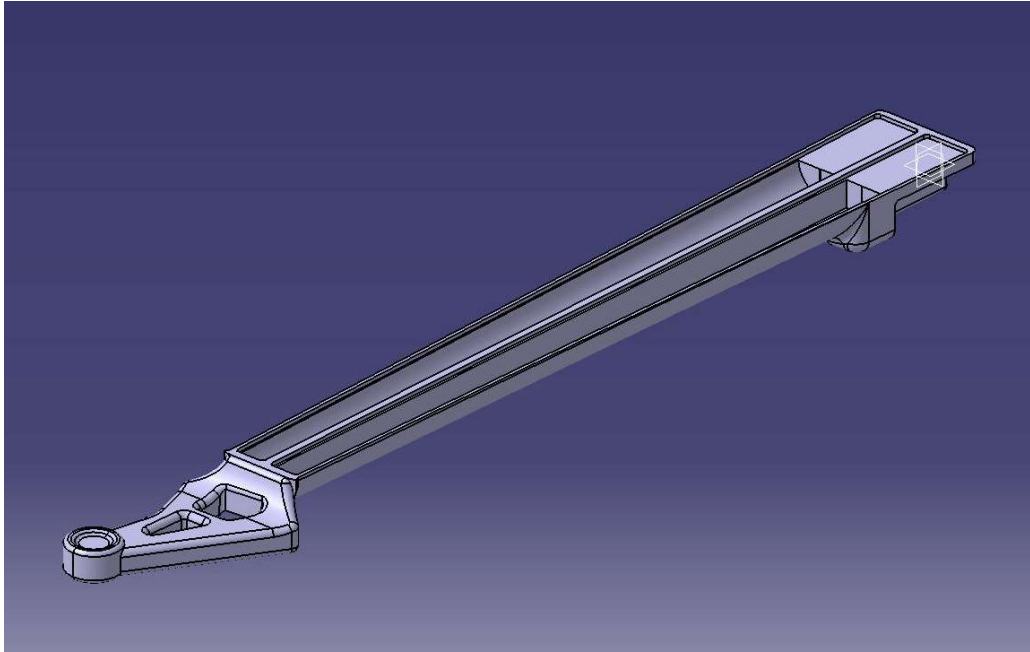
Liitoskohdassa pyöristykset tehtiin säteen arvolla 3 mm jotta se on toteutettavissa 6 mm halkaisijan omaavalla tappiterällä. Liitoksen syvyys on myös mitoitettu osaltaan koululta löytyvien tappiterien pituuden mukaan. Rungon mallintamisen yhteydessä näitä arvoja voi tarkistella ja kokoonpanon avulla tarkistaa mittojen osuvuuden.

Lavan muodoksi valikoitui melko perinteinen malli. Lavassa urat ja aukot keventämässä rakennetta (kuva 36). Pyöristykset lavan reunoissa säteen arvolla 3. Kämmenpuolen muoto täytti sille asetetut vaatimukset ja oli muotokieleltään solakka, joten pystyi siirtymään otelaudan puoleisen sivun mallintamiseen.



Kuva 36. Lopullinen kaulan kämmenpuoli.

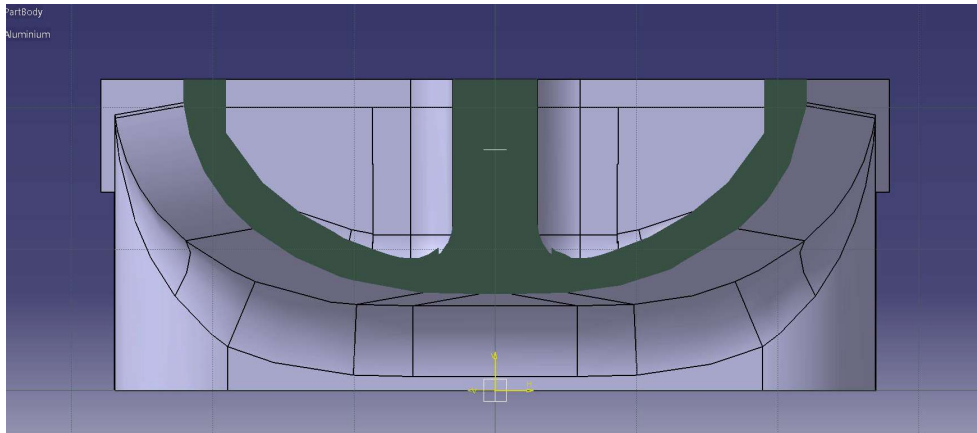
Otelaudan puolta mallintaessa oli päätettävä kaulan seinämävahvuus koverretussa kohdassa. Koverretun osion pituus oli myös määriteltävä sekä se, onko liitoskohdan kohdalla mahdollisesti koverrus (kuva 37).



Kuva 37. Luonnos koverretusta kaulasta.

Luonnostellessa tuntui järkevältä sijoittaa koverrus satulan jälkeen, tämä siksi että satulalta välittyisi mahdollisimman paljon kielen värähtelystä muuttumattomana. Liitoskohdan luo vaikutti hyvältä sijoittaa maltilliset koverruukset, jotta massa pysyisi mahdollisimman matalana.

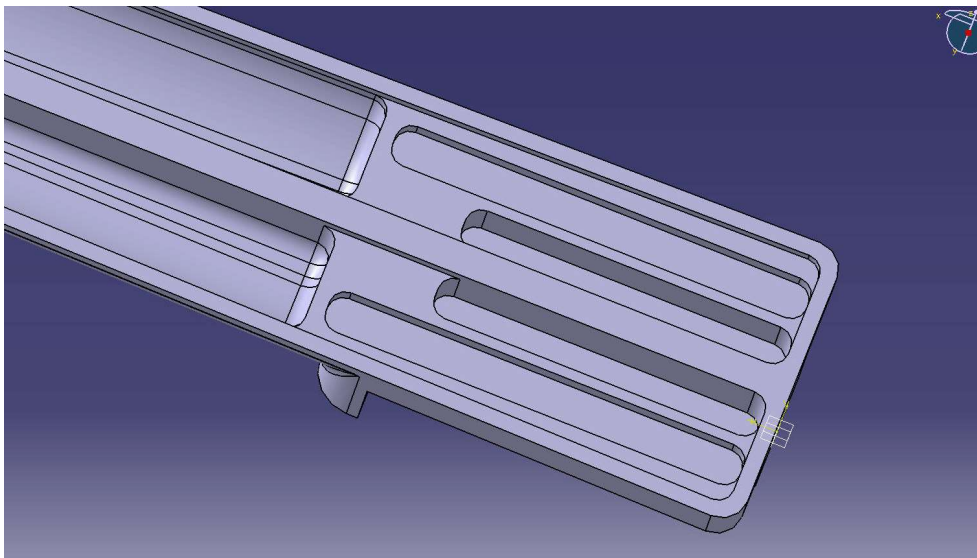
Seinämävahvuudeksi kaulaprofiilissa koverruksen kohdalla valikoitui 2 mm. Tällöin rakenne pysyy tukevana käteen mutta mahdollisimman kevyenä. Keskipalkin paksuudeksi määriteltiin 6 mm, jotta otelautaan pystyy tekemään vastaavan uran tappiterällä. (Kuva 38.)



Kuva 38. Lämpileikkaus lopullisesta kaulaprofiilista sekä koverruksesta.

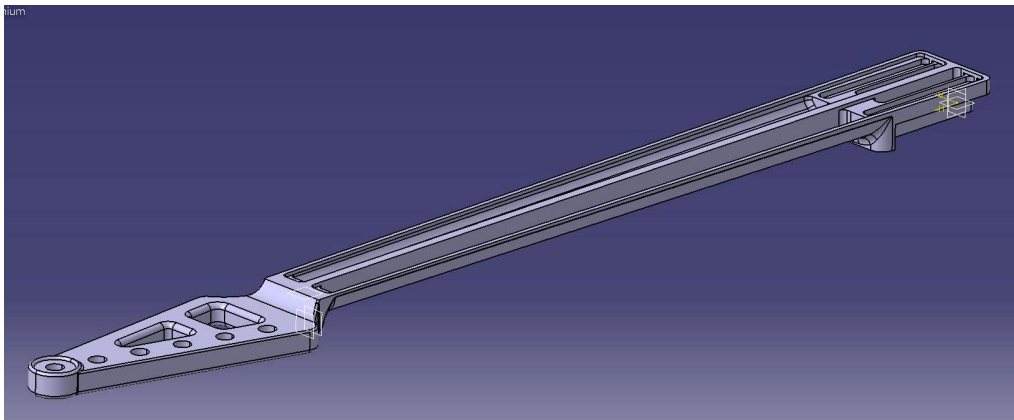
Koverruksen muoto piti toteuttaa vastaavasti kuin kaulaprofiili kämmenpuolella. Koverruksen yhteydessä oli pienimuotoisia ongelmia muodon toteuttamisessa, suurimmat ongelmat toivat mukanaan pyöristysten luominen. Pyöristykset on tehty säteen arvoa 3 käyttäen, jotta ne ovat tehtävissä 6 mm:n pallopäisellä terällä.

Liitoskohdan luo syntyi maltilliset onkalot, jotta kaulan ja rungon liitoskohta olisi mahdollisimman tukeva (kuva 39). Urat ovat 8 mm leveät ja täten tehtävissä 6 mm:n tappiterällä. Keskitukea lähinnä olevat onkalot jätettiin mataliksi, huomioiden että toiselle puolelle tulee kierteet kiinnityspultteja varten.



Kuva 39. Kaulan liitospääty otelaudan puolelta tarkasteltuna.

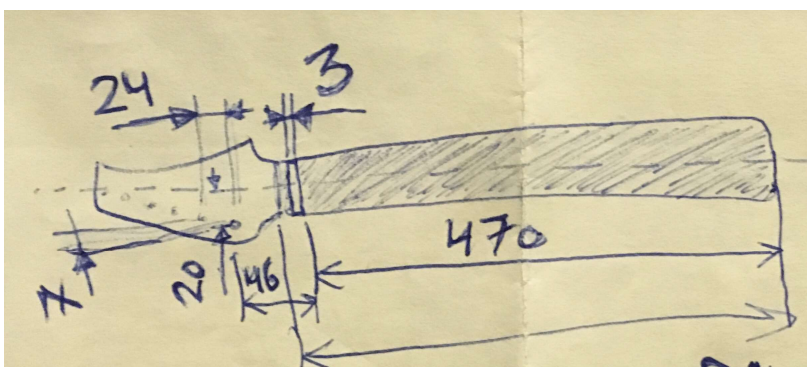
Lopullisen kaulan (kuva 40) massaksi tuli Catian massalaskurilla 628 g. Massa vaikutti olevan linjassa asetetun massatavoitteen kanssa, ja tämän pohjalta pystyi arvioimaan kaulan ja otelaudan yhteismassaksi noin kg:n. Kaulaa oli kevennetty kaikista soveltuvista kohdin jättäen rakenteen kuitenkin vankaksi. Lavan luona oli silti vielä materiaalia poistettavaksi, jos kokonaisuudessa sitä vaatisi.



Kuva 40. Lopullinen kaula kokonaisuudessaan.

6.2 Otelauta

Kuvan 41 mukaan otelaudan mitta rungon päädystä satulan reunaan 470 mm. Kaulan mitoituksesta puolestaan määräytyi otelaudan kokonaispituudeksi 480 mm ja leveydeksi satulan kohdalle 42 mm ja perään 56 mm.



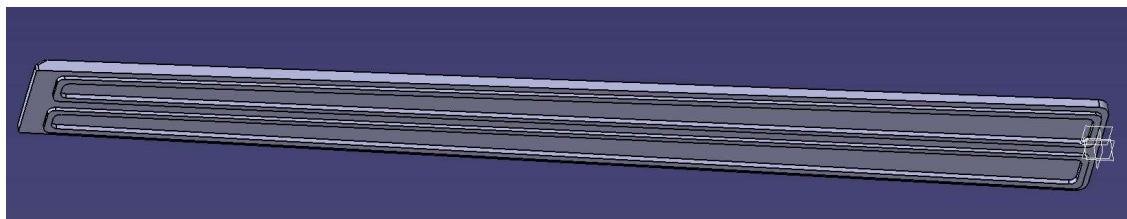
Kuva 41. Otelaudan sekä kaulan mitoitusluonnos.

Otelaudan paksuudeksi oli määräytynyt jo kaulaa suunnitellessa 9 mm, josta 2 mm tulisi holkin lailla kaulan sisälle. Näkyvää osaa otelaudassa olisi 7 mm, tällöin olisi riittämiin materiaalivahvuutta nauhaurien luomiseen.

Satulauran ollessa 3 mm sitä ei voida järkevästi koneistaa Quaserilla, ja sama pätee nauhauriin, joiden pitäisi olla leveydeltään 0.6 – 0.8 mm. Satula- sekä nauhaurien kohdalla joutuikin turvautumaan siihen, että ne valmistetaan käsin nauhaurasahalla sekä siihen kuuluvalla skaalan mukaan mitoitettulla jigillä.

Otelaudan kaulan puoleista pintaa muotoillessa mitat määräytyivät kaulan mukaan. Mittoissa huomioitiin liimavara 0.1 mm.

Kuvasta 42 näkee, että kaulaan upotettavista osuuksista poistettiin materiaalia keveyden huomioimiseksi. Tällä tavoin massasta pystyi tiputtamaan 80 g. Kaulasta ja otelaudasta tehdyn testiluontoisen kokoonpanon avulla pystyi havaitsemaan kaulan ja otelaudan yhteenlasketun massan hienoisesti ylittävän 1 kg.



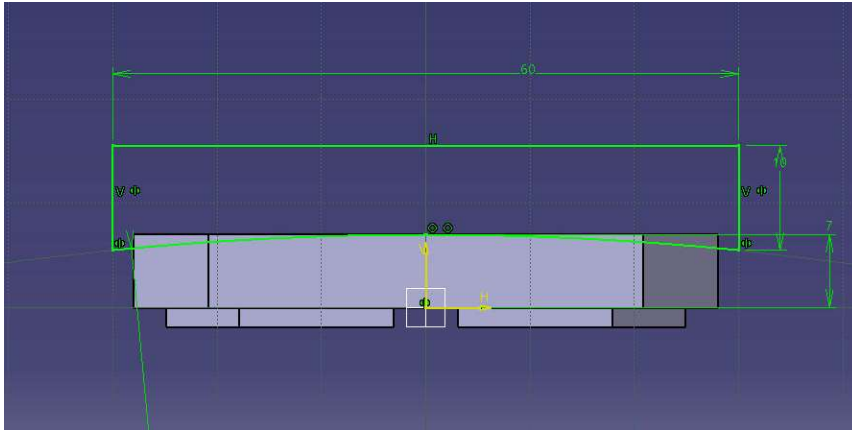
Kuva 42. Otelauta kaulan puolelta tarkasteltuna.

Upotettavien osuuksien sisämitat olivat kapeimmillaan satulan päädyssä 10 mm. Otelaudan kaulan puoli oli toisin sanoen työstettävissä 6 mm:n tappiterällä, kun pyöristykset olivat arvoltaan 3 mm. Keskiura oli liimavaroineen 6.2 mm, joten se oli myös työstettävissä 6 mm:n tappiterällä.

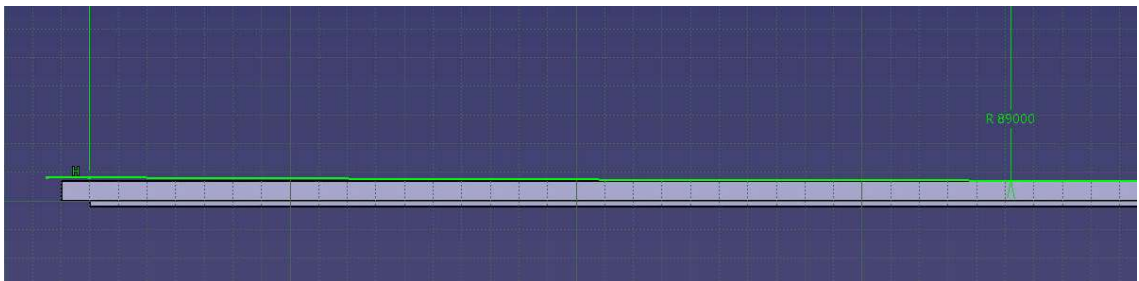
Kielten puolta mallintaessa oli huomioitava otelaudan kuperaus. Sen arvoksi määräytyi 12 tuumaa (304 mm), johtuen nauhojen, satuloiden ja tallojen saatavuudesta kyseisellä arvolla. Otelautaa mallintaessa oli myös huomioitava puisissa kitaroissa kaularaudalla säädettävissä oleva relief. Tässä relief viittaa siihen, kuinka paljon kaarella kaula on kielten jännityksestä johtuen. Sivusta katsoen kaulan pitäisi olla siis kovera kieliin nähden.

Kielten luontainen liikehdintä vaikuttaa siihen, että relief vaikuttaa kitaran soivuuteen [25].

Kuvissa 43 ja 44 olevan profiilin sekä radan mukaan, sai mallinnettua kuperuuden sekä reliefin Slot-toiminnolla. Reliefin asetetulla arvolla saatiin aikaiseksi suosituksen mukainen 0.3 mm [19]. Relief mallinnettiin ulottumaan satulalta otelaudan päätyyn, eli alueelle, jossa kielet soivat.

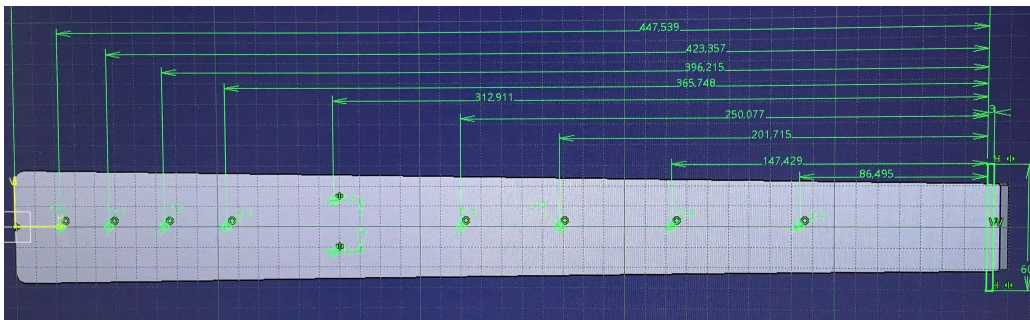


Kuva 43. Otelaudan kuperuuden profiili Slot-toimintoa varten.



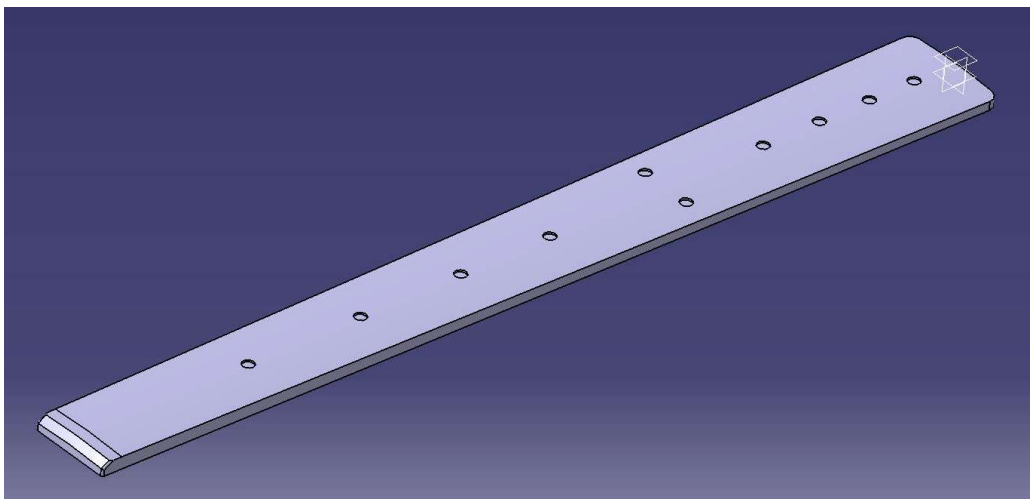
Kuva 44. Reliefin arvot.

Otelautamerkintöjä varten oli arvot laskettava 25.5 tuuman (648 mm) skaalan mukaisesti. Merkinnät haluttiin yksittäisinä pisteinä nauhoille 3, 5, 7, 9, 15, 17, 19 ja 21. Kahdella pisteellä merkinnät haluttiin nauhalle 12. (Kuva 45.)



Kuva 45. Otelautamerkintöjen sijoittelu.

Merkintöjen halkaisija oli 6 mm ja täten tehtävissä vastaavan halkaisijan omaavalla tappiterällä. Porausten syvyys maksimissaan oli 1.5 mm, joten se vastaa reilumpaa askelkorkeutta eikä täten vahingoita terää (kuva 46).

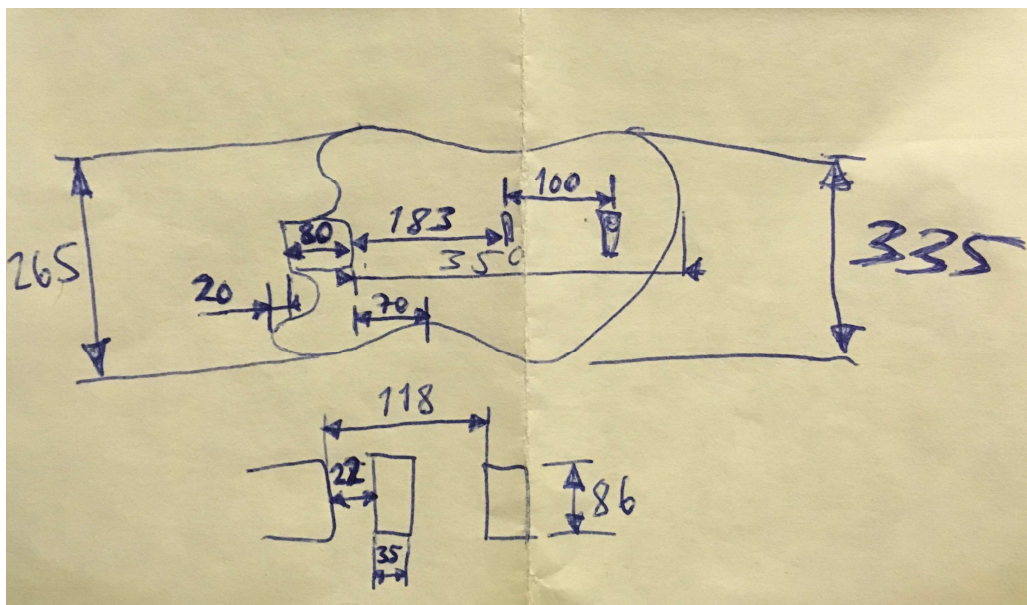


Kuva 46. Lopullinen otelauta kielten puolelta kuvattuna.

Otelaudan massaksi tuli 376 g ja tällöin yhteenlaskettu massa kaulan kanssa 1004 g. Nämä arvot vastaavat vaadittua, ja myös otelauta on rakenteeltaan vankka sekä mahdollisimman kevyt.

6.3 Runko

Rungon mitat olivat pitkälti JA-60:n runkoa vastaavat mitat (kuva 47). Näitä mittoja tosin oli hieman muutettava luonnostellun muodon saavuttamiseksi.



Kuva 47. Rungolle asetetut mitat.

Päämitat ja painopiste kuitenkin pyrittiin pitämään samoina mallinnuksen aikana. Rungon paksuudeksi oli asetettu 35 mm ja kaulan kulmaksi oli valikoitunut 1.5 astetta. Tämä kaulakulma perustui Tune-o-matic-tyyliseen talleen, skaalan pituuteen sekä otelaudan päädyn sijaintiin kannen yläpuolella. 1.5 astetta tarjosi optimaalisen korkeuden tallalle ja täten hyvän soitettavuuden.

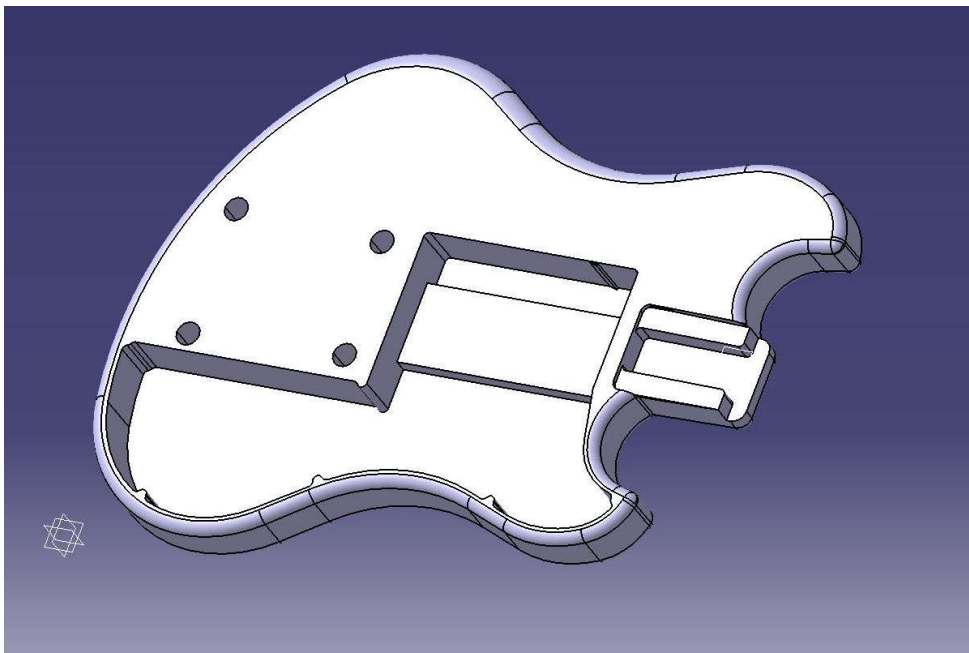
Rungon kansipuolta mallintaessa edettiin pitkälti luonnostellun muodon perusteella. Ainevahvuuksia varten tutkittiin Squier Mustangin mikrofonionkaloa (kuva 48), jotta saatiin jonkinlainen mielikuva, millä mitoin se on valmistettu.



Kuva 48. Squier Mustangin mikrofoni / elektroniikkaonkalo.

Onkalon syvyydeksi mikrofoniin kohdalla mitattiin 22 mm ja rungon paksuuden ollessa 34 mm, pohjan paksuudeksi saatiin 12 mm. Tämän pohjalta pääteltiin alumiinista valmistassa 10 mm paksun pohjan riittävän.

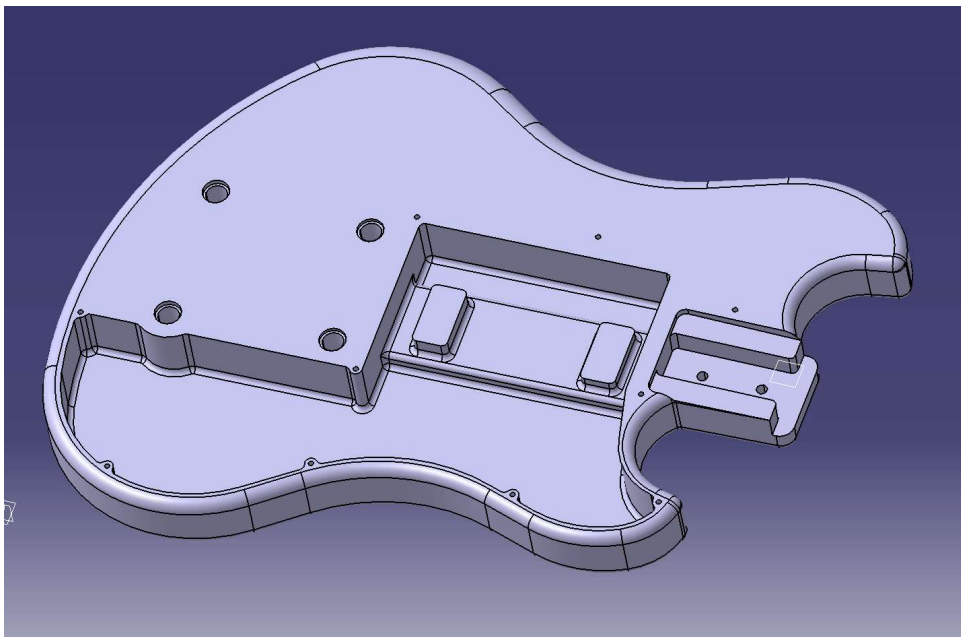
Reunojen pyöristyksiksi asetettiin säteen arvo 7 mm ja ranteen kohdalta isompi pyöristys arvolla 13 mm. Elektroniikkaonkalon kohdalla pohjan materiaalipaksuutena on 2 mm, lukuun ottamatta mikrofoniin alla sijaitsevaa tukipalkkia, jonka materiaalipaksuus on 10 mm. Palkin leveydeksi laitettiin 56 mm eli sama kuin kaulan leveys rungon päädyssä. (Kuva 49.)



Kuva 49. Rungon muoto ja rakenne lähes valmiina, kannen puolelta tarkasteltuna.

Plektrasuojukselle jätettiin pyörityksestä katsoen 2 mm:n tasainen pinta, jolle plektrasuojus asettuu tarpeeksi vankasti. Plektrasuojukseen ei kohdistu suoraa räsitusta, joten sille ei laitettu väirimoitusta tukemaan rakennetta.

Mikrofonit asennetaan ruuvein kiinteästi runkoon, ja niille piti mallintaa omat korokkeet. Tallamikrofonille koroke mallinnettiin korkeammalle kuin kaulamikrofonille, johtuen kaulakulmasta. (Kuva 50.)



Kuva 50. Lopullinen rungon muoto kannen puolelta nähtynä.

Lopullisessa rungossa näkyvät plektrasuojukselle merkatut ruuvinkohdat, plektrasuojuksen pystyykin helposti kokoonpanossa luomaan rungon mitoituksen pohjalta.

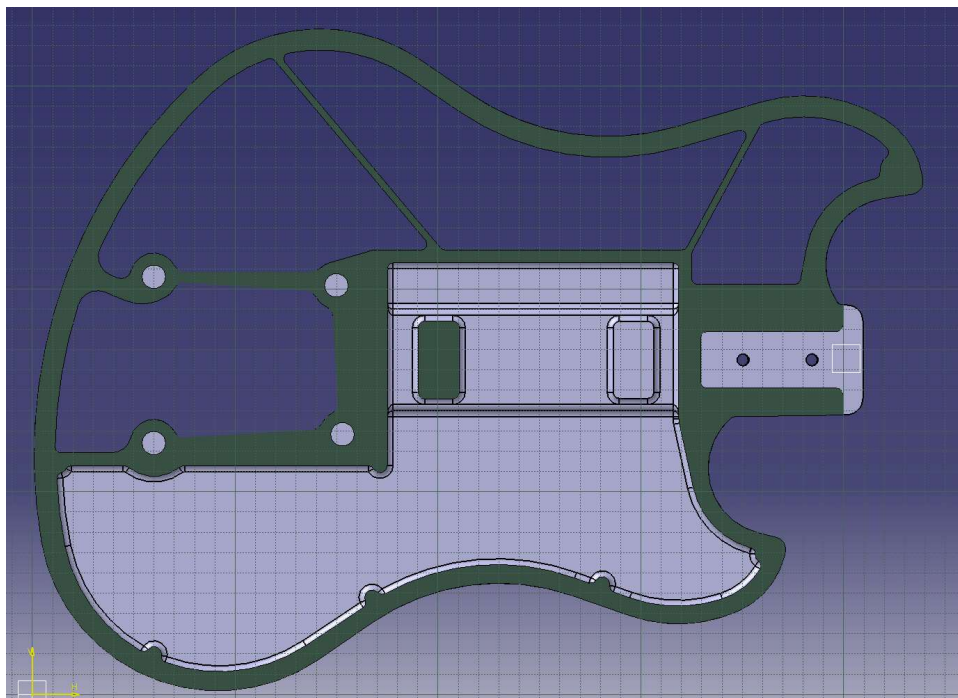
Tallan sekä kielenpitimen kiinnitysreiät määräytyivät JA-60:n mittojen mukaan. Niille mallinnettiin myös 2 mm:n huullokset, jotta etenkin kielenpidin koskettaisi pohjastaan kantta. Tällä tavoin maksimoidaan kielen värähtely häviöttömänä runkoon.

Keskipalkkia päädyttiin kaventamaan hieman, leveydeksi määräytyi 50 mm. Rakenne vaikutti tällaisenaan kevyemmältä ja tarvittavan vahvalta. Onkalon pyöristykset mallinnettiin säteen arvolla 3 mm, joskin saattaa olla, että näitä arvoja joudutaan muuttamaan. Onkaloiden jyrsimiseen vaaditaan 33 mm pitkää terää, tämän takia reunojen pyöristyksiä saatetaan joutua muokkaamaan isomman halkaisijan omaavan terän mukaisiksi. Pohjan pyöristys saatetaan myös jättää pois, jos onkalo jyrsitään isommalla tappiterällä.

Quaserilla valmistaessa, joudutaan runkoaihio asettamaan kulmaan kaulataskun jyrsimistä varten. Tämä onnistunee tekemällä tukipalat, jotka asettavat runkoaihion oikeaan kulmaan koneen akseleita kohden.

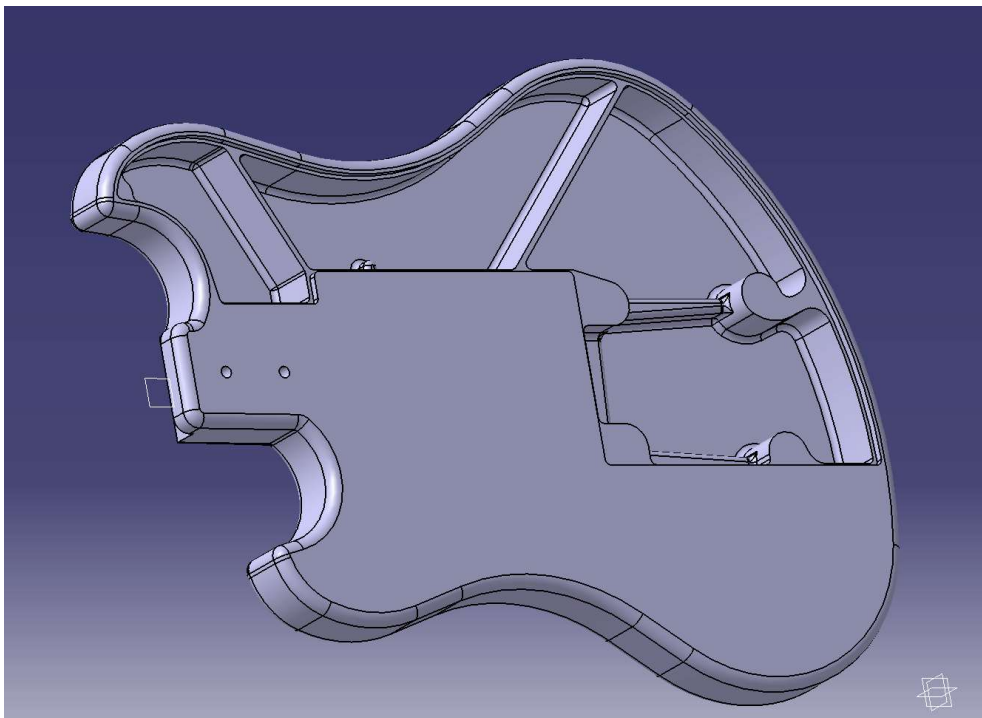
Rungon pohjapuolta mallintaessa onkalo tehtiin samoin, kuin etupuolella. Etupuolen mitoista määräytyivät etu- sekä takaonkalon välisien seinien paksuudeksi 4 mm. Takapuolen onkaloihin laitettiin välirimoitus, koska niihin kohdistuu rasiusta soittajasta.

Läpileikkauksessa näkyy väliseinä sekä 2 mm paksut rimoitukset takapuolella. Kuvassa 51 näkyvät myös hihnatappien kohdalla, yläsarvessa sekä perässä, tukevat paikat ruuveille.



Kuva 51. Läpileikkaus rakenteesta kaulamikrofonin korokkeen tasolta.

Tallan sekä kieltenpitimen väliin laitettiin tukeva rimoitus, jonka tehtävänä oli tuennan lisäksi myös parantaa kielten värinän siirtymistä runkoon. Pohjan puolella takalevylle tehtiin hylly, jotta 2 mm:n alumiinista valmistettava levy uppoaa runkoon, luoden yhtenäisen ja tasaisen pohjapinnan. (Kuva 52.)

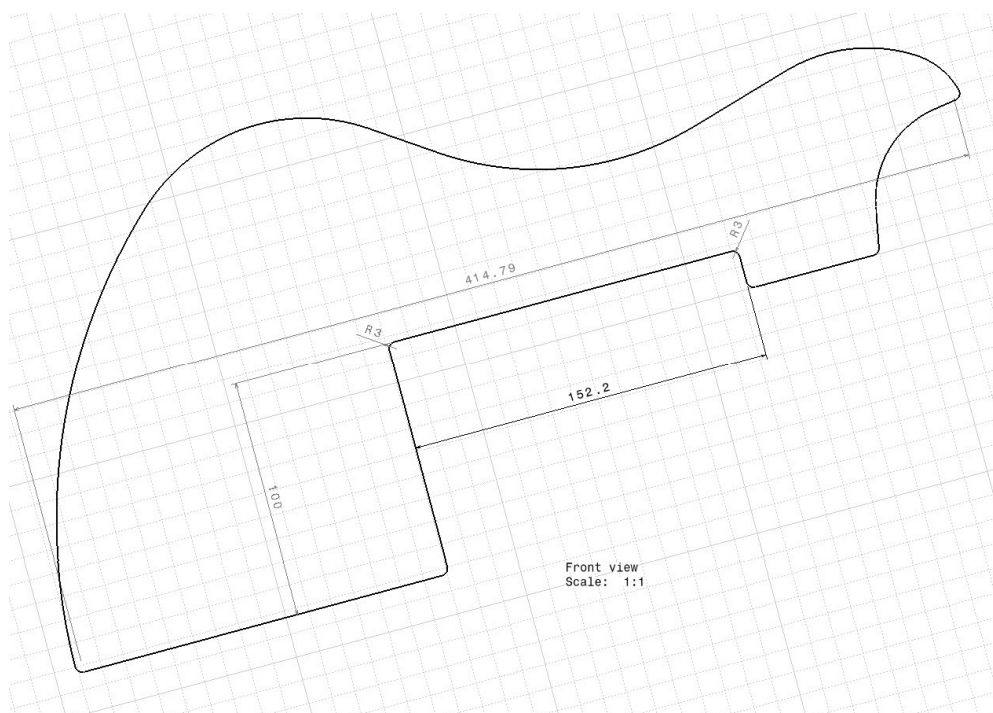


Kuva 52. Runko pohjan puolelta nähtynä.

Lopullisen rungon massaksi kertyi mallinnuksessa 2637 g. Tämä on linjassa asetettujen tavoitteiden kanssa ja vaikuttaa kaikin puolin toimivalta rakenteelta. Tosin terien valinta saattaa vaikuttaa siihen, että rungon muotoa ja paksuutta joudutaan vielä hieman muuttamaan. 3D-mallintamisen hyviä puolia onkin se, että malleja pystyy muokkaamaan suhteellisen vaivatta jälkikäteen.

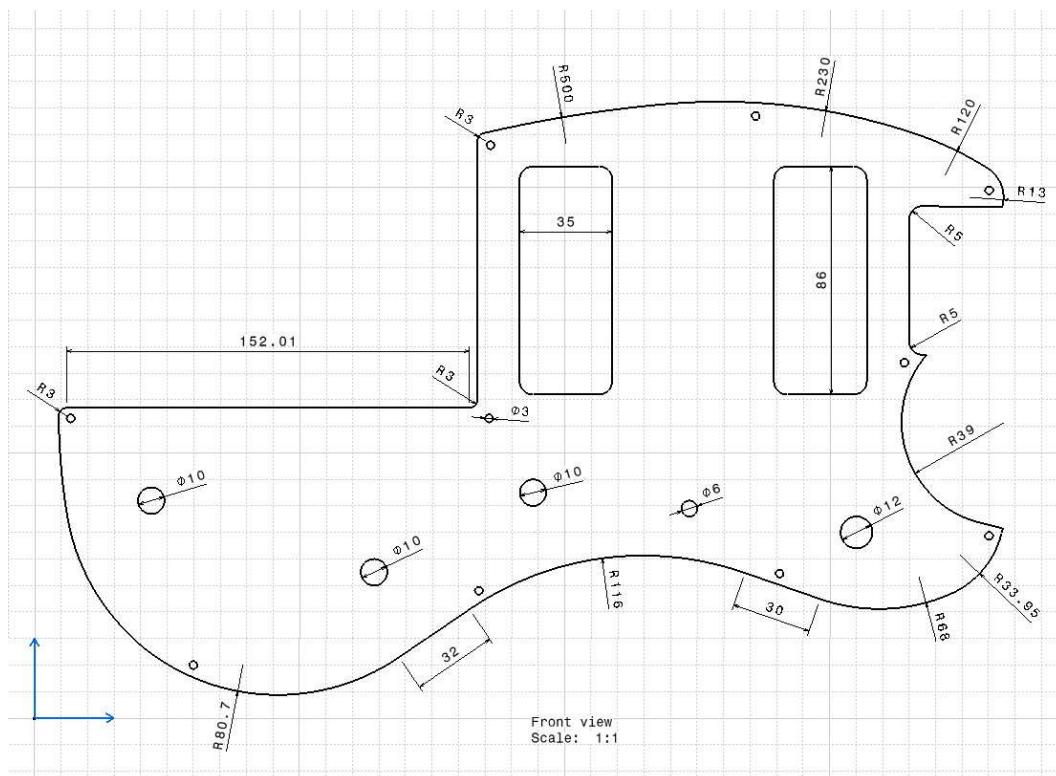
6.4 Plektrasuojus ja taustalevy

Taustalevy mallinnettiin kokoonpanossa suoraan rungon pohjan mittojen mukaan (kuva 53). Liimavaraa jätettiin 0.1 mm. Piirroksen voi lähettää soveltuvassa muodossa teetettäväksi plasmaleikkurilla. Levy on määrä teettää 2 mm:n alumiinista, tällöin pohjan paksuus yhtenäisesti vähintään 2 mm.



Kuva 53. Taustalevyn piirros mitoilla.

Plektrasuojuksen kohdalla toimittiin samoin kuin taustalevyn kanssa, mitat kopioitiin kokoonpanossa suoraan kannesta. Yläreunan muoto sekä mikrofonireikien mitat olivat ai-noat, joita ei saanut kokoonpanossa kannesta kopioitua. Yläreunan muoto syntyi pienen kokeilun tuloksena ja näyttää virtaviivaiselta. (Kuva 54.)



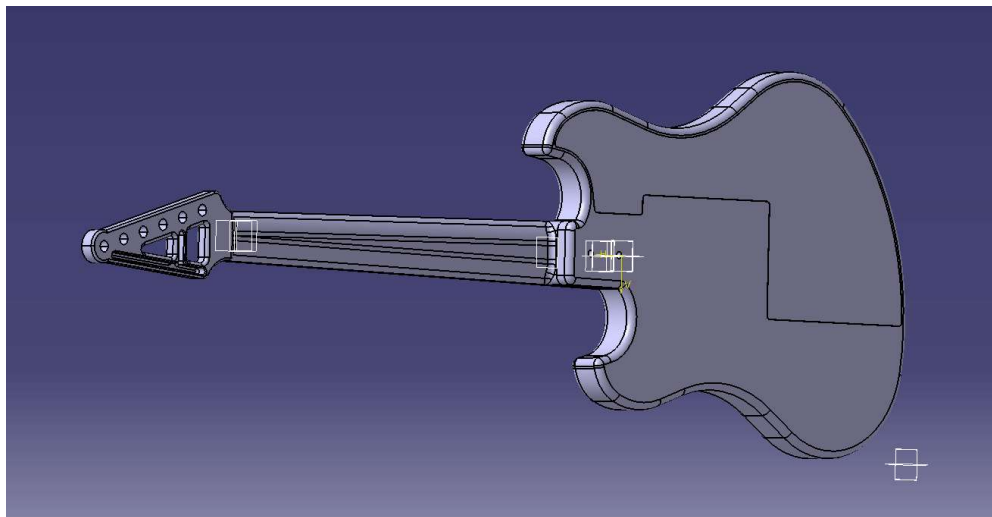
Kuva 54. Plektrosuojuksen piirros mitoilla.

Mikrofonivalitsimen, säätimien ja ulostulojakin paikat määriteltiin silmämääräisesti siten, että komponentit mahtuvat. Ainoastaan tallamikrofonin alla sijaitsevaa äänenvoimakkuuden säädintä joutui siirtämään hieman taaksepäin, ettei se osuisi onkalon seinämiin.

Tämäkin levy teetetään taustalevyn kaltaisesti plasmaleikkurilla leikattavaksi. Paksuus on myös sama 2 mm, jotta ne pystytään leikkaamaan samasta levystä. Samoilla mitoilla valmistetaan käsityönä mahdollisesti yksi versio materiaalinaan 4 mm:n muovilasi. Tämä lähinnä ulkonäkösyistä ja kiinnostuksesta tutkia, kuinka muovilevy vaikuttaa sointiin.

6.5 Kokoonpano

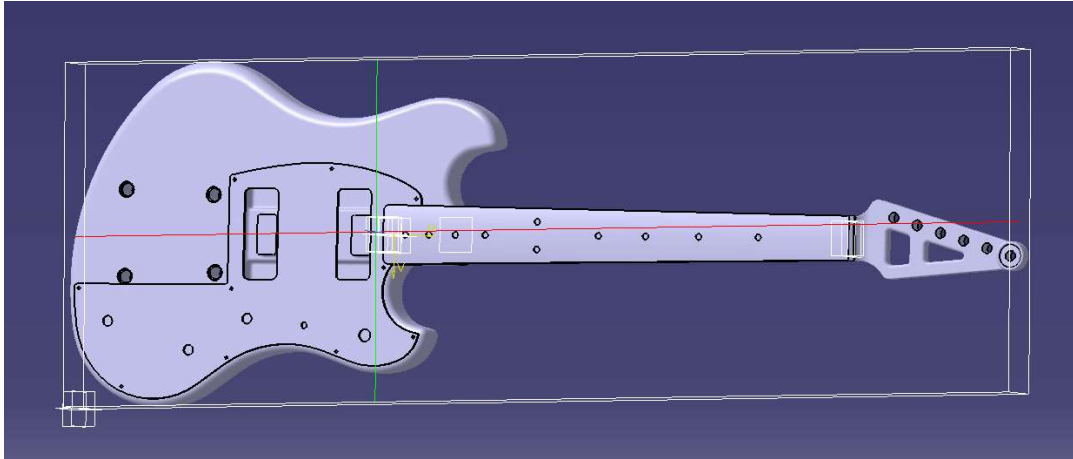
Osia mallintaessa tehtiin kokoonpanoja, joista pystyi tarkastella kitaran ulkoasua ja mitataamaan kokonaismassaa sekä painopistettä. Osia mallinnettiin samanaikaisesti ja siten kokoonpanoa pystyi tutkiskelemaan tarvittaessa. (Kuva 55, liite.)



Kuva 55. Lopullinen kitaran kokoonpano, pohjasta nähtynä.

Kokoonpanon avulla yksittäisten osien massaa pystyttiin muokkaamaan kohti 4 kg:n kokonaismassaa. Ulkomuodon ja mittasuhteet sai paremmin perspektiiviin, kun näki koko kitaran.

Kuvasta 56 näkyy painopisteen sijaitsevan suunnilleen kaulamikrofonin luona. Kitaran yhtenä tavoitteena oli, että kitara ei olisi kaulapainoinen, ja tässä onnistuttiin. Kyseinen kitara on suunniteltu siten, että sitä pääsääntöisesti soitetaan seisten hihnaa käyttäen. Hihnatappien sijaitessa yläsarvessa sekä perässä, voi kuvan perusteella todeta painopisteen olevan todella lähellä optimaalista.



Kuva 56. Lopullinen kitaran kokoonpano, kannen puolelta tarkasteltuna. Punaisen ja vihreän akselin risteämiskohta merkkää painopisteen sijaintia.

Kokoonpanoa tarkastellessa huomaa osien sopivan yhteen keskenänsä ja muotokielen olevan sulavalinjainen kauttaaltaan. Kokonaismassaksi Catian massalaskurilla tuli 4.079 kg. 4 kg:n tavoitemassa ylittyi hieman, joskin lopullisten kiinnitettävien osien kanssa voi arvioida ylittykö 5 kg:n yhteismassa. Tarvittaessa rungosta sekä kaulasta pystyy poistamaan vaaditun määrän materiaalia sopivista paikoista, jotta tavoitemassaan päästään.

7 Yhteenveto

Insinööriyön aiheena oli alumiinisen sähkökitaran suunnittelu, huomioiden valmistusteknilliset aspektit mahdollisimman hyvin jo suunnitteluvaiheessa. Lisäksi selvitettiin, soveltuuko alumiini soitinrakennukseen massansa puolesta. Tavoitteena oli myös esitellä sähkökitaroihin liittyvää teoriaa sekä puisissa malleissa käytettyjä rakenteellisia ratkaisuja.

Suunnittelutyön perusteella syntyi 3D-malli valmistettavasta tuotteesta. Pää tavoitteina oli sulavalinjainen, 25.5 tuuman (648 mm) skaalalla varustettu täysalumiininen rakenne, jonka massa olisi alle 4 kg. Tavoitteisiin päästiin muutoin täysin, massan ollessa ainoa, joka ylittyi niukasti. Rakenteesta suunniteltiin jyrsimällä valmistettava ja runkoa lukuun ottamatta osien pitäisi olla valmistuskelpoisia. Rungon kohdalla sen paksuudesta saataan joutua tinkimään valmistusvaiheessa, terien saatavuuden mukaan. 3D-mallinnuksen hyvänä puolena onkin, että sitä pystyy jälkikäteen sujuvasti muokkaamaan tarpeen niin vaatiessa.

Alumiinin soveltuvuus soitinrakennukseen on suunnitelman lopputuloksen mukaan muutoin hyvä, massan ollessa ominaisuus joka puurakenteiseen kitaraan verrattaessa on isompi. Soinnillisista ominaisuuksista suunnitelman pohjalta ei pysty loppupäätelmiä tekemään, joskin suunnitellessa kielen värähtelyn siirtyminen muuttumattomana rakenteessa pyrittiin optimoimaan.

Työn päätelmänä voi todeta, että syy alumiinikitaroiden niukkaan näkyvyyteen markkinoilla on todennäköisesti isompi massa, materiaalin työstettävyys sekä korkeammat materiaali- sekä valmistuskustannukset. Alumiinivalmisteiset kitarat pysyvät mitä suurimmalla todennäköisyydellä myös jatkossa sähkökitaroiden alakulttuurina, jolla on oma omistautunut kannattajakuntansa.

Lähteet

- 1 Scapelliti, Christopher. Which Tuning Standard Sounds Better: 432 Hz or 440 Hz. Verkkodokumentti. <<https://www.guitarworld.com/lessons/which-tuning-standard-sounds-better-432hz-or-440hz>> Luettu 18.1.2019.
- 2 Denyer, Ralph. Suuri kitarakirja. Hong Kong: WSOY.
- 3 Gibson ES-150. Verkkodokumentti. Gibson. <<https://www.guitar-list.com/gibson/electric-guitars/gibson-es-150-1936-1942-models>> Luettu 27.3.2019.
- 4 Vinnicombe, Chris. Gibson Memphis 1958 ES-335 VOS. Verkkodokumentti. <<https://guitar.com/review/gibson-memphis-1958-es-335-vos-review/>> Luettu 8.12.2018.
- 5 Price, Huw. Vintage bench test: 1950 Fender Broadcaster – Broadcast quality. Verkkodokumentti. <<https://guitar.com/review/1950-broadcaster/>> Luettu 23.2.2019.
- 6 Purvis, Richard. Review: 2019 Gibson Les Paul Studio Tribute & SG Standard Tribute. Verkkodokumentti. <<https://guitar.com/review/electric-guitar/gibson-2019-les-paul-studio-sg-standard-tribute/>> Luettu 30.3.2019.
- 7 Meeker, Ward. The first "Aluminum Neck Guitar" built by Glen Burke. Verkkodokumentti. <<https://guitararcheology.wordpress.com/2012/05/02/the-first-aluminum-neck-guitar-built-by-glen-burke-2/>> Luettu 27.11.2018.
- 8 Vintage "Burke" First Aluminum Neck (Pre Messenger) Davoli Veleno Travis Bean. Verkkodokumentti. <<http://www.vintageguitarz.com/2011/10/vintage-burke-first-aluminum-neck-pre.html>> Luettu 29.12.2018.
- 9 Wright, Michael. Veleno Guitars Shiny Metal (Rare) Birds. Verkkodokumentti. <<https://www.vintageguitar.com/1791/veleno-guitars/>> Luettu 15.2.2019.
- 10 O' Hara, Marcus. The Unique Guitar Blog: Veleno Guitars. Verkkodokumentti. <<https://uniqueguitar.blogspot.com/2010/11/veleno-guitars.html>> Luettu 15.2.2019.
- 11 Wolfert, Jamie. Aluminum Guitars – A Primer. Verkkodokumentti. <<https://reverb.com/news/aluminum-guitars-a-primer>> Luettu 11.3.2019.
- 12 Denny, Ron. 3 Times Electric Guitar Makers Tried To Ditch Wood. Verkkodokumentti. <<https://reverb.com/news/3-times-electric-guitar-makers-tried-to-ditch-wood>> Luettu 5.4.2019.

- 13 Equipboard. Ampeg Dan Armstrong Plexi Electric Guitar. Verkkodokumentti. <<https://equipboard.com/items/ampeg-dan-armstrong-plexi-electric-guitar>> Luettu 2.3.2019.
- 14 The History of Danelectro. Verkkodokumentti. <<https://www.danguitars.com/danelectro>> Luettu 17.4.2019.
- 15 Flaxwood. Verkkodokumentti. <<http://www.flaxwood.com/support/faq/>> Luettu 29.4.2019.
- 16 Hokin, Samuel. The Physics of Everyday Stuff: The Guitar. Verkkodokumentti. <<http://www.bsharp.org/physics/guitar>> Luettu 12.2.2019.
- 17 Case, Alex U. Recordingology: Guitars. Verkkodokumentti. <<https://recordingology.com/in-the-studio/guitars/>> Luettu 4.3.2019.
- 18 Matthies, Aaron. Ultimate Guide to Guitar Scale Length. Verkkodokumentti. <<https://guitargearfinder.com/guides/ultimate-guide-to-guitar-scale-length/>> Luettu 21.1.2019.
- 19 Wikipedia. Verkkodokumentti. <<https://fi.wikipedia.org/wiki/Kitara>> Luettu 4.2.2019.
- 20 Hiscock, Melvyn. Make Your Own Electric Guitar. Avon: Blandford.
- 21 D'Addario: EXL110 Nickel Wound, Regular Light, 10-46. Verkkodokumentti. <http://www.daddario.com/DADProductDetail.Page?ActiveID=3769&productid=13&productname=EXL110_Nickel_Wound_Regular_Light_10_46> Luettu 26.2.2019.
- 22 Singer, Tom. Guitar Neck Tension and Compression. Video. <<https://www.youtube.com/watch?v=V7nlawulcJM>> Luettu 10.4.2019.
- 23 Hoepfinger, Heiko. What the Heck is with that Neck. Verkkodokumentti. <https://www.premiorguitar.com/articles/What_the_Heck_is_with_that_Neck> Luettu 18.2.2019.
- 24 Owens, Jeff. What Is Fingerboard Radius. Verkkodokumentti. <<https://www.fender.com/articles/tech-talk/what-is-fingerboard-radius/>> Luettu 7.12.2018.
- 25 Owens, Jeff. How to Measure Neck Relief on Guitar or Bass. Verkkodokumentti. <<https://www.fender.com/articles/how-to/how-to-measure-neck-relief-on-guitar-or-bass>> Luettu 15.12.2018.

Kitaran kokoonpanopiirros

