
**KAHVIASTIASTON SUUNNITTELU 3D-TEKNIIKKAA
HYÖDYNTÄEN**



Ammattikorkeakoulun opinnäytetyö

Muotoilun koulutusohjelma

Visamäki, syksy 2016

Samuli Arhippainen

VISAMÄKI

Muotoilun koulutusohjelma

Lasi ja keramiikka

Tekijä

Samuli Arhippainen

Vuosi 2016

Työn nimi

Kahviastiaston suunnittelu 3D-tekniikkaa hyödyntäen

TIIVISTELMÄ

Opinnäytetyön aiheena on keraamisen kahviastiaston suunnittelu ja 3D-tekniikan hyödyntäminen suunnitteluprosessissa. Suunnitteluprosessi jakautui kahteen päävaiheeseen: suunnittelutyöhön sekä prototyypin valmistusprosessiin. 3D-tekniikkaa hyödynnettiin kahviastiaston 3D-mallinnuksessa, esityskuvien ja teknisten piirustusten teossa sekä mallineen 3D-tulostuksessa.

Suunnittelutyön tavoitteena oli saada aikaan hyvin suunniteltu astiakokonaisuus. Myös kahviastiaston esineiden ergonomisuus, käytännön toimivuus sekä esimerkiksi lautasten pinoutuvuus olivat tavoitteina suunnittelulle. Rungas ideointi ja luonnostelu olivat päämetodeina näiden tavoitteiden saavuttamisessa. Prototyypin valmistusprosessissa kokeiltiin 3D-tulostetun mallineen soveltuvuutta kipsisen valumuotin valmistuksessa. Opinnäytetyön teoreettisena taustana toimi alan kirjallisuus sekä kvalitatiiviset eli laadulliset tutkimusmenetelmät, joita olivat strukturoimaton havainnointi sekä asiantuntijahaastattelu. Lisäksi opinnäytetyön aikana kerättiin dokumentaarista aineistoa luonnosten sekä valokuvien muodossa suunnitteluprosessin etenemisestä. Opinnäytetyössä kerättiin myös havaintoja 3D-tulostetun mallineen toimivuudesta prototyypin valmistusprosessissa.

Opinnäytetyön tuloksina syntyivät suunniteltu kokonaisuus kahviastiastosta sekä kahviastiaston yhdestä astiasta valmistettu keraaminen prototyyppi. Suunnitteluprosessin tulokset osoittavat 3D-tulostetun muovisen mallineen toimivuuden keraamisen prototyypin valmistusprosessissa.

Avainsanat Kahviastiasto, suunnitteluprosessi, 3D-mallinnus, 3D-tulostus, keramiikka

Sivut 52 s. + liitteet 2 s.

VISAMÄKI
Degree Programme in Design

Author	Samuli Arhippainen	Year 2016
Subject of Bachelor's thesis	Designing a Coffee Set Utilizing 3D Technology	

ABSTRACT

The purpose of this thesis was designing a ceramic coffee set and utilizing 3D technology in the design process. The design process was divided into two parts: designing the coffee set and manufacturing a ceramic prototype of the coffee set. 3D technology was utilized in the 3D modeling, final product illustrations, technical drawings and 3D printing a template for a casting mold.

The aim of the design process was to achieve a well-designed set. Also, ergonomics, practicality and stacking of the plates were aims for the design process. The main methods to achieve these aims were rich ideation and sketching. In the manufacturing of the prototype, the suitability of the 3D printed template in the making of a plaster mold was tested. The theoretical background consisted of field literature and qualitative research methods, such as unstructured observation and interviewing an expert. In addition, documentary material in the form of sketches and photos was gathered. Observations about the functionality of a 3D printed template in the process of manufacturing a prototype were also gathered.

The project resulted in a designed coffee set and a ceramic prototype of one dish. The results of the design process show that a 3D printed plastic template is suitable in the manufacturing process of a ceramic prototype.

Keywords Coffee set, design process, 3D modeling, 3D printing, ceramics

Pages 52 p. + appendices 2 p.

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	1
1.1	Aihealue ja tavoitteet.....	1
1.2	Tiedonhankintamenetelmät ja tutkimuskysymykset	3
1.3	Viitekehys.....	3
1.4	Käsitteet.....	4
2	SUUNNITTELU TYÖ	6
2.1	Ideointi	6
2.2	Luonnostelu.....	8
2.3	3D-mallinnus.....	11
2.3.1	3D-mallinnusprosessi	11
2.3.2	3D-tulostukseen vienti.....	19
2.4	Esityskuvien tekeminen kahviastiasosta	23
3	ASTIASTON PROTOTYYPIN VALMISTUS	25
3.1	Tekniset piirustukset	25
3.2	3D-tulostus	26
3.2.1	3D-tulostustekniikoista.....	27
3.2.2	3D-tulostuksen tilaus	30
3.3	Prototyypin valmistusprosessi.....	31
3.3.1	Valumuotin valmistus.....	31
3.3.2	Valumassan valmistus	36
3.3.3	Keraamisen prototyypin valaminen.....	37
3.3.4	Viimeistely	38
4	TULOKSET JA ARVIOINTI	42
4.1	Suunnitteluprosessi.....	42
4.1.1	Kahviastian arviointi.....	43
4.1.2	Kahviastian prototyyppi.....	48
4.2	Pohdinta.....	50
	LÄHTEET	52

Liite 1 Espressokupin tekniset piirustukset

Liite 2 Valumuotin työpiirustukset

1 JOHDANTO

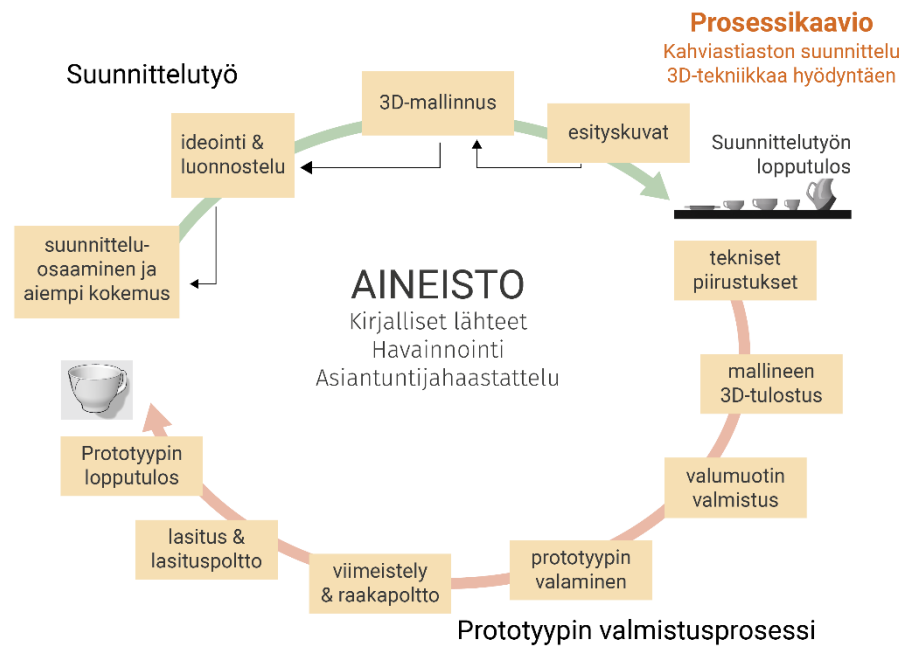
Opinnäytetyön aiheena on keraamisen kahviastiaston suunnittelu, jonka eri vaiheissa on hyödynnetty 3D-tekniikkaa. Suunnittelun lisäksi kokeillaan 3D-tulostetun muovisen mallineen sopivuutta kipsisen valumuotin valmistuksessa, sillä perinteisesti keramiikan valusavimuoteissa mallineina käytetään joko savea tai kipsiä. Valumuotilla valmistetaan keraaminen prototyyppi yhdestä kahviastiaston esineestä, jonka avulla esimerkiksi arvioidaan 3D-tekniikan soveltuvuutta keraamisen kahviastiaston suunnitteluprosessissa.

Opinnäytetyössä teoria kulkee yhdessä suunnitteluprosessin mukana. Suunnitteluprosessin eri vaiheissa on aluksi selitetty aihealueen teoria, jonka jälkeen tulee toiminnallinen osuus. Suunnitteluprosessi jakautuu kahteen päävaiheeseen, suunnittelutyöhön sekä siitä jatkavaan prototyypin valmistusprosessiin. Lopuksi opinnäytetyö käsittelee näiden vaiheiden tulokset ja arvioinnin yhdessä johtopäätösten kanssa.

1.1 Aihealue ja tavoitteet

Opinnäytetyön ideana on suunnitella viisiosainen keraaminen kahviastiasto, joka kuvastaa tekijäänsä suunnittelijana. Suunnittelussa on panostettu alkuvaiheen runsaaseen ideointiin ja luonnosteluun, jossa on otettu huomioon kahviastiaston toimivuuteen vaikuttavia asioita. Luonnostelun tueksi on tehty tunnelmataulu eli ns. moodboard, joka sisältää kuvina ja luonnoksina astiaston tunnelman ja inspiroi suunnittelijaa työssään. Opinnäytetyössä 3D-tekniikkaa käytetään astioiden mallintamiseen, esityskuvien renderointiin, teknisten piirustusten valmistukseen sekä mallineen tulostamiseen kolmiulotteisena kappaleena. 3D-tekniikan hyödyntäminen on olennainen osa nykyaikaista suunnittelua, ja sillä voidaan sekä nopeuttaa suunnittelutyötä että toteuttaa sellaisia ratkaisuja, jotka ovat perinteisillä menetelmillä haastavia, elleivät jopa mahdottomia.

Opinnäytetyön tavoitteena on kahviastiaston suunnittelun runsas ideointi ja luonnostelu, jotka ilmentävät hyvin suunniteltua kokonaisuutta. Suunnittelutyössä on myös otettu tavoitteiksi astioiden ergonomisuus, käytännön toimivuus sekä lautasten pinoutuvuus. Lisäksi opinnäytetyöprosessin tavoitteina ovat 3D-tekniikan hallitseminen sekä sen hyötyjen tutkiminen prototyypin valmistusprosessissa.



Kuvio 1. Prosessikaavio kahviastian suunnitteluprosessista

Opinnäytetyöni etenee prosessikaavion (kuvio 1) mukaisesti, jossa aieman kokemuksen ja suunnitteluosaamisen kautta päädytään ideoimaan uutta kahviastiasiaa. Prosessikaavion mustat nuolet kuvastavat prosessin aikana tapahtuvaa reflektiota ja paluuta kehällä takaisinpäin. Suunnittelutyö alkaa ideoiden keräämisellä moodboardiin, joka toimii pohjana kahviastian luonnostelulle. Luonnosten pohjalta valitaan kehityskelpoiset ideat jatkokehittelyyn ja lopulta 3D-mallinnettavaksi, jotka siten muodostavat viisisoaisen keraamisen kahviastian. Astiastosta tehdään 3D-mallinnusohjelmalla esityskuvat, jolloin astioiden osat tulevat esille sekä yksinään että kokonaisuutena. Prototyypin valmistusprosessi alkaa teknisten piirustusten tekemisellä yhdestä astiaston esineestä. Tämän jälkeen yhdestä astiaston esineestä tehdään 3D-tulostamalla malline kipsistä valumuottia varten. 3D-tulostetun muovisen mallineen avulla valmistetaan valumuotti, jolla tehdään kokeilut tekniikan toimivuudesta. Opinnäytetyön yhtenä lopputuloksena on keraaminen prototyyppi suunnittelemani kahviastian espressokupista. Kahviastian esityskuvat toimivat suunnittelutyön lopputuloksena, joka on esitelty yhdessä prototyypin lopputuloksen kanssa luvussa 4.1 Tulokset ja arviointi. Opinnäytetyöhön ei kuulu perinteisten mallinemateriaalien vertailu muoviseen, vaan keskityn muovisen mallineen käyttökokemuksiin ja -mahdollisuuksiin.

Opinnäytetyö käsittelee myös kupin prototyypin valumuotin valmistuksen, valamisprosessin, raakapolton, lasittamisen sekä lasituspolton. Lasitteiden testaaminen ja vertailu rajautuvat tämän opinnäytetyön ulkopuolelle, sillä prototyyppiä varten käytetään yksinkertaista kirkasta lasitetta joka tuo parhaiten keraamisen esineen muodot ja toimivuuden esille. Lasitteiden suunnitelmallisuus tulee kuitenkin esille esityskuvissa, joissa lopullinen ulkonäkö on harkittu. Kahvikuppien yleisiä mittoja lukuun ottamatta, kahvilakulttuurin sekä itse kahvin historian tutkiminen rajautuu tämän opinnäyte-

työn ulkopuolelle. Myös kohderyhmän käsittely rajautuu tämän opinnäytetyön ulkopuolelle, sillä poikkeuksella, että kahviastiasto on suunniteltu kotitalouksia ajatellen, ei kahviloiden käyttöön. Kahvilan käyttöön suunniteltava kahviastiasto vaatisi yritysyhteistyön tai toimeksiannon, eikä käyttäjätiedon hankkiminen ole opinnäytetyön tavoitteiden mukainen lähtökohta suunnittelulle.

1.2 Tiedonhankintamenetelmät ja tutkimuskysymykset

Opinnäytetyö käsittelee sekä keraamisen astiaston suunnittelutyötä että prototyypin valmistusprosessia. Taustatietoa suunnittelun tueksi hankitaan pääosin kirjallisista lähteistä, kuten Ilkka Kettusen (2001) Muodon palapeli -kirjasta. 3D-tekniikkaan hankitaan tietoa pääosin ulkomaisista e-kirjoista ja verkkojulkaisuista, sillä suomeksi painettuna materiaalia on valitettavan vähän.

Opinnäytetyössä hyödynnetään myös laadullisia tutkimusmenetelmiä kuten strukturoimatonta suoraa havainnointia sekä asiantuntijahaastattelua. Havainnointia hyödynnetään erityisesti 3D-tulostuksen tutkimiseen käymällä alan messuilla Nordic 3D Expossa Vantaalla. Myös kahviastiaston nykyvaatimuksia havainnoidaan pääosin internetin avulla. Asiantuntijahaastattelussa haastattelen suunnittelija Markku Piriä 3D-mallinnuksen hyödyistä sekä suunnitteluprosessista yleensä. Markku Piri valikoitui asiantuntijaksi aiemmin tekemäni yhteistyön vuoksi sekä hänen laaja-alaisen suunnitteluosaamisen ansiosta. Asiantuntijahaastattelussa hankitaan myös tietoa kahviastiaston (sekä perinteisen että nykyaikaisen) toimivuudesta ja vaatimuksista. Lisäksi opinnäytetyön aikana kerätään dokumentaarista aineistoa luonnosten sekä valokuvien muodossa suunnitteluprosessin etenemisestä. Opinnäytetyössä kerätään myös havaintoja 3D-tulostetun mallineen toimivuudesta prototyypin valmistusprosessissa.

Opinnäytetyön aihe käsittelee sekä keraamisen kahviastiaston suunnittelutyötä että prototyypin valmistusprosessia, jolloin pääkysymykseni on kaksiosainen:

- Millainen on 3D-tekniikalla suunnittelemani keraaminen kahviastiasto?
- Millainen on kahviastiaston prototyypin valmistusprosessi?

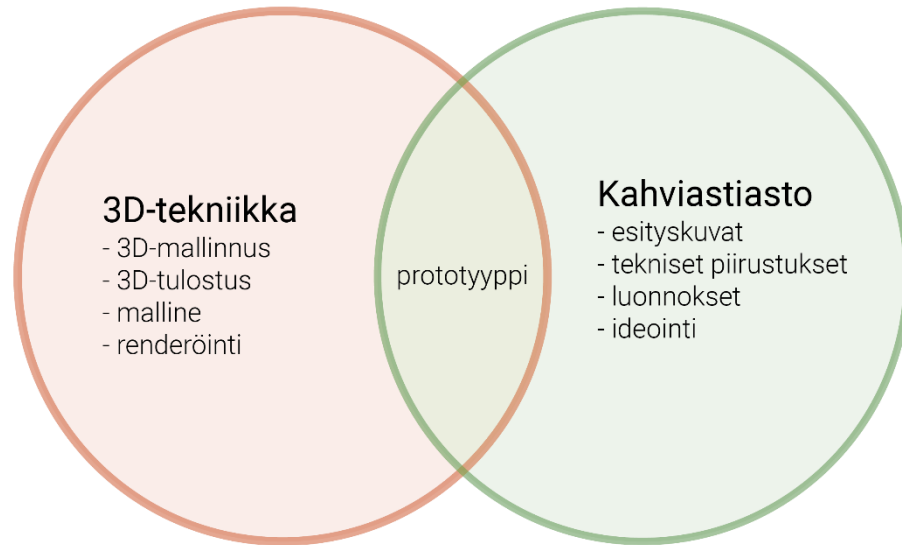
Tarkentavina alakysymyksinä ovat:

- Mitä on 3D-tekniikka suunnitteluprosessissa?
- Millainen on toimiva kahviastiasto ja mitä siihen kuuluu?
- Miten 3D-tekniikka soveltuu keraamisen kahviastiaston suunnitteluun?

1.3 Viitekehys

Viitekehykseni (kuvio 2) koostuu kahdesta ympyrästä, jossa havainnollistuu kahden eri aihealueen kohtaaminen tässä opinnäytetyössä. Vasemmassa ympyrässä ovat 3D-tekniikkaan liittyvät aiheet, kuten 3D-mallinnus ja -tulostus, malline sekä renderöinti. Oikeassa ympyrässä ovat kahviastiaston suunnitteluun liittyvät aiheet, kuten esityskuvat, tekniset piirustukset, luonnokset sekä ideointi. Näiden ympyröiden väliin, eli leikkaukseen, sijoittuu

keraamisen kahviastiaston prototyyppi, joka on valmistettu 3D-tekniikkaa hyödyntäen.



Kuvio 2. Viitekehys.

1.4 Käsitteet

3D-mallinnus. 3D on lyhenne kolmiulotteisesta, ja tulee englannin kielestä three dimensional. 3D-mallinnus on osa tietokoneavusteista suunnittelua, engl. CAD, computer-aided design, jossa tietokoneohjelmalla luodaan suunniteltavasta tuotteesta kolmiulotteinen malli. Malli voi olla esimerkiksi rautalankamalli eli wireframe, pintamalli tai tilavuusmalli.

3D-tekniikka käsittää kaiken sekä 3D-mallinukseen että 3D-tulostukseen liittyvän tekniikan. Tässä opinnäytetyössä 3D-tekniikasta puhutaan, kun halutaan kattaa molemmat osa-alueet yhden käsitteen alle.

3D-tulostus tarkoittaa 3D-mallin geometrian siirtämistä digitaalisesta tiedostosta konkreettiseksi kappaleeksi ainetta lisäävän valmistuksen periaatteella. 3D-tulostimia ja -tulostustekniikoita on useita erilaisia, riippuen halutusta materiaalista sekä tuotantotavasta.

FDM on yleisin 3D-tulostustekniikka, eli Fused Deposition Modeling, jossa 3D-tulostin sulattaa muovia ja pursottaa sitä kerros kerrokselta, kunnes kappale on valmis. Käytetään joskus myös lyhennettä FFF, eli Fused Filament Fabrication, mutta molemmat lyhenteet tarkoittavat samaa lisäävän valmistuksen menetelmää. (Make: 3D Printing 2014, 3.)

SLS eli Selective Laser Sintering, suomeksi lasersintraus. SLS-tekniikassa 3D-tulostimen lasersäde sulattaa säiliöön levitetyn muovijauheen kerros kerrokselta (Make: 3D Printing 2014, 98).

SLA eli stereolitografia. SLA-tekniikassa 3D-tulostimen lasersäde kovettaa kappaleen nestemäisessä epoksipohjaisessa fotopolymeerissä kerros kerrokselta (Make: 3D Printing, 98).

Renderöinti, tai rendaus, tarkoittaa 3D-mallinnusohjelmalla tapahtuvaa 3D-mallin kuvittamista siten, että mallin geometrian lisäksi on nähtävissä myös sen materiaali, taustat ja valaistus. Termi tulee englanninkielen sanasta rendering. Renderöintiä käytetään, kun halutaan nähdä miltä 3D-malli näyttäisi todellisuudessa. 3D-mallinnusohjelmasta voidaan viedä renderöity bittikarttatiedosto esimerkiksi JPG-muodossa, jolloin renderöintiä voidaan käyttää esityskuvien tekoon.

Prototyyppe tarkoittaa viimeisteltyä kolmiulotteista mallia, jonka valmistukseen ei välttämättä käytetä samoja materiaaleja tai tuotantotapoja kuin lopullisessa tuotteessa. Prototyyppe on malli, tuotetta esittävä jäljitelmä tai kuva, jonka perusteella joitakin tuotteen ominaisuuksia voidaan tutkia. Sopivia materiaaleja prototyypeille ovat esimerkiksi paperi, pahvi, kartonkipintainen vaahtolevy, muovivaahto, puu, muovi sekä jotkin metallit. (Kettunen 2001, 98–103.)

2 SUUNNITTELU TYÖ

Keraamisen kahviastiaston suunnittelun lähtökohtina ovat hyvin suunniteltu kokonaisuus, astioiden käyttömukavuus eli ergonomisuus, käytännön toimivuus kuten lautasten pinoutuvuus. Näitä ominaisuuksia edeltää kuitenkin kahviastiaston esteettisyys, eli esimerkiksi se kuinka se edustaa tekijäänsä suunnittelijana. Vain osaa näistä edellä mainituista tavoitteista voidaan arvioida koko kahviastiaston osalta, sillä esimerkiksi ergonomisuutta voidaan konkreettisesti arvioida vain fyysisen prototyypin avulla. Suunnittelutyö kattaa ideoinnin, luonnostelun, 3D-mallinnuksen sekä esityskuvien tekemisen Rhinoceros 5.0 -ohjelmalla. Suunnittelutyön lopputulokset yhdessä prototyypin kanssa ovat esitelty opinnäytetyön tulosten esittelyssä.

Asiantuntijahaastattelussa suunnittelija Markku Piri listaa perinteiseen kahviastiastoon kuuluvaksi seuraavat esineet: kuppi, lautanen, asetti, kermakko ja sokerikko sekä mahdollisesti kahvi- tai teekannu. Piri myös toteaa, että nykyisessä nopeassa pikaruokailukulttuurissa on vähennetty lautasten määrää, siten että kahvi tarjoillaan usein mukeista, jolloin mukin alle ei tule lautasta. Hän myös lisää asiantuntijahaastattelussaan, että kaupallisia tekijöitä sekä käytön helppoutta ajatellen, on hyödyllisempää tuottaa sellainen astiakokonaisuus, jossa samalla esineellä voi olla useampia eri käyttötarkoituksia (Piri, haastattelu 20.9.2016.).

Lisäksi Markku Piri toteaa, että kuluttajat odottavat astiastolta jonkinlaista yhteneväisyyttä ja yhdenmukaisuutta. Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että astioita käytettäessä yhdessä tai peräkkäin yhdistelminä, astiaston osat näyttävät kuuluvan yhteen. (Piri, haastattelu 20.9.2016.) Jotta astiasto olisi ulkoasultaan ja ilmeeltään yhdenmukainen, ei ole järkevää tehdä toisistaan liiaksi poikkeavia luonnoksia.

2.1 Ideointi

Ideoinnin tarkoituksena on tuottaa mahdollisimman paljon uusia ja erilaisia ideoita luonnosteltavaksi, eikä mitään ideoita ole syytä karsia tässä vaiheessa. Ajattelu on kriittistä vapaata, jolloin on mahdollista syntyä uusia ja alkuperäisiä ideoita. Ideoita kirjoitetaan sanallisesti ylös kuvaamaan tiettyä ajatusta, tai luonnostellaan pikaisesti hahmottamaan haluttua muotoa. Ideat konkretisoituvat luonnosten muodossa havainnollistettaviksi asioiksi. Myös ideoiden runsas määrä takaa niiden lopullisen laadun, sillä suunnittelijan oletuksena on, että joukosta löytyy yksi tai useampi erityisen hyvä idea. Lisäksi ensimmäiset mieleen juolahtavat ideat ovat yleensä jo tuttuja, jolloin vasta pidemmän ideoinnin jälkeen alkaa syntyä omaperäisiä ideoita. Täten ideoiden määrällä varmistetaan myös niiden laatu. (Kettunen 2001, 70–72.)

Ideoinnin avuksi on erilaisia työtapoja ja rutiineja. Ideat eivät synny pakotamalla, eikä niiden tulemiselle ole eduksi aikataulut, odotukset tai kritiikki. Parhaiten ideoita syntyy, kun pitkän työstämisen jälkeen siirrytään pitämään taukoa. Kettunen (2001, 70–72) kuvaa tätä kiristämisen ja löysäämisen tekniikaksi. Suuresta määrästä ideoita on mahdollista yhdistellä ideoita toisiinsa, jolloin mahdollisimmatkin ideat tulevat hyödyksi osana toteutettavaa

idea. Ideointi onkin yleensä suunnittelun hauskin ja luovin vaihe, jolloin apuna ovat intuitio, kokemus, maalaisjärki sekä yhtäkkinen inspiraatio.

Suunniteltavan aiheen ollessa ideointivaiheessa, erilaisista visualisoinnin menetelmistä on hyötyä. Ideoiden keräämiseen kasaan, on moodboard siihen hyvä työväline. Moodboard sisältää kuvia ja luonnoksia kuvaamaan aihealueen tunnelmia. Kuvien avuksi voi olla myös lyhyitä tekstipätkiä avaamassa kuvien aiheita syvemmin. Moodboardin voi ajatella sisältävän suunniteltavan asian ydinajatuksen tai tunnelman, jota suunnittelija haluaa ilmaista. Erityisesti suunnitteluprosessin alkuvaiheessa moodboard inspiroi suunnittelijaa työssään, ja auttaa luomaan uusia ideoita.

Tein moodboardini (kuva 1) omien kuvieni pohjalta kuvaamaan rauhallista ja pysähtynyttä tunnelmaa. Kuvissa korostuu erilaiset pinnat, joita halusin kokeilla tuoda esiin myös lopulliseen tuotteeseen. Moodboardiin myös sisältyy kahviastiaston takana oleva ajatus rauhassa vietetystä kahvihetkestä, jolloin ei tehdä töitä samanaikaisesti. Taustalla on ajatus monotaskingista, eli keskittymisestä yhteen tehtävään kerrallaan, vastalauseena nykypäivänä hyvin tutulle multitaskingille, jolloin tehdään useaa asiaa yhtäaikaista. Retkellä ollessa tämä ajatus tiivistyy juuri kahvitaukoihin, jolloin yleensä pysähdytään tekemään taukopaikalle nuotio kahvinkeittoa varten, ja jatketaan matkaa, kun kahvit on juotu ja retkeilijä levännyt.



Kuva 1. Moodboard. Kuvat ovat tekijän itse ottamat.

Moodboardin pohjalta suunnitteluni lähti liikkeelle. Luonnoksissa pyrin tuomaan kelojuun pintatekstuuria sekä kahvipannun mattamustaa pintaa mukaan. Lisäksi kahviastiaston värimaailma pohjautuu moodboardin pääosin mustavalkoiseen sävyyn. Moodboard ei kuitenkaan toiminut liian rajoittavana tekijänä suunnittelussa, vaan avasi tietynlaisen näkymän josta suunnittelun voi aloittaa. Halutessani olisin voinut vielä muuttaa suunnittelun ottamaa suuntaa.

2.2 Luonnostelu

Luonnostelu on visuaalinen ajatteluprosessi, jonka tarkoituksena on löytää ongelmaan uusia ratkaisuja, kommunikoida kollegoiden kanssa tai ymmärtää suunniteltavaa kohdetta. Luonnosteluun liittyy myös esitysteknisiä seikkoja, sillä viimeistelyjä luonnoksia voidaan hyödyntää niin markkinoinnissa kuin tuotteen tuotantoon viennissä. Lisäksi luonnosteluvaiheessa muutosten tekeminen on halvempaa ja nopeampaa kuin myöhemmin suunnitteluprosessissa, joten ongelmakohtien kartoittaminen on tässä vaiheessa eduksi. Kettunen (2001, 94) myös toteaa, että idean visualisointi on ensimmäinen askel tuotteen valmistumisessa.

Runsas luonnostelu luo hyvän pohjan suunnittelutyölle. Lähtökohtana voidaan pitää n. 50–100 kappaletta luonnoksia kyseistä aihetta kohti. Luonnosten koko vaihtelee yleensä ns. peukalonpääluonnoksista aina A4–A3-paperikoon luonnoksiin. Luonnosten laatua ei alkuvaiheessa tarkastella kriittisesti, vaan määrä ratkaisee. Luonnokset tehdään useimmiten käsin piirtämällä, mutta erilaisia tekniikoita on hyvä vaihdella esitystavan ja ideoinnin rikastamiseksi. Luonnosteluvaiheessa mietittiin kahviastioiden toimivuutta, ja erilaisia vaihtoehtoja oli useita. Astioiden käyttömukavuus eli ergonomisuus sekä käytännön toimivuus ovat jatkokehittävien luonnosten rajaavia kriteerejä. Lautasten suunnittelussa yhtenä kriteerinä oli myös niiden pinoutuvuus, joka on ratkaiseva tekijä esimerkiksi sarjatuotantoa ajatellen.

Jatkokehittelyyn valitaan yleensä useampia ideoita yhdestä tuotteesta, joita kehitellään jatkamalla ja yhdistelemällä paremmiksi. Lopulta jäljelle jää muutama jatkokehittely idea, joista valitaan yksi suunnittelun konseptiksi. Kahviastiasta luonnostellessa luonnoksia kerääntyi yhteensä 121, joista jatkokehitin kuusi ideaa eteenpäin. Kuvissa 5 ja 6 on nähtävissä jatkokehittelyjä luonnoksia. Astiastossa toistuu moodboardin keloopuun pinta, joka on tuotteissa ikään kuin raapaistu pinnan alta näkyviin. Myös suunniteltujen tuotteiden kaarevuus toimii niitä yhdistävänä tekijänä

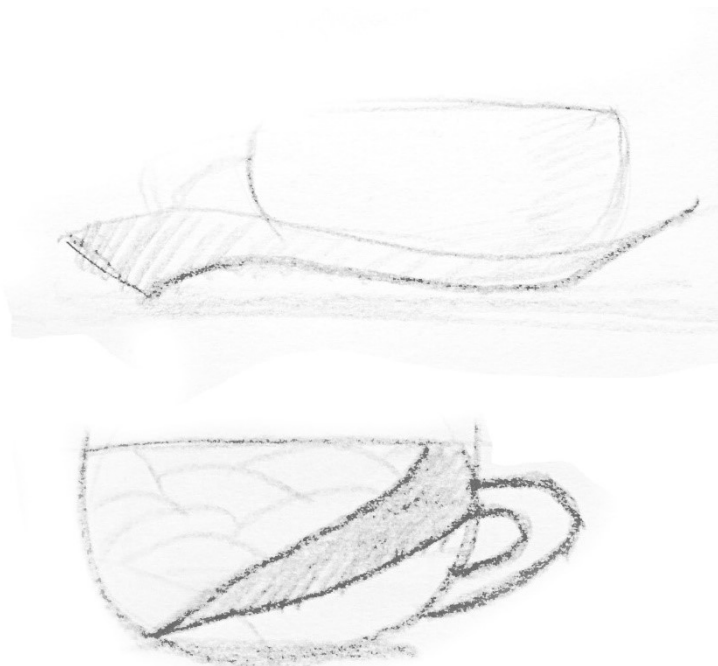
Astiaston suunnittelussa käytin pääasiassa lyijykynää ja paperia ideoiden luonnosteluun. Lyijykynän lisäksi käytin myös pehmeämpää sinistä värikyynää, jolla on luontevampaa tehdä pehmeitä ja sulavia ääri viivoja. Jatkokehittävien luonnosten kohdalla käytin viivojen korostamiseen lyijykynien lisäksi mustekyniä sekä värillisiä huopatusseja. Näillä keinoilla syntyi hyvä pohja aloittaa 3D-mallinnus, sillä luonnoksista oli mahdollista jäljittää linjoja 3D-mallinnusohjelma Rhinocerosissa, mutta ne kävivät myös ideoiden esittämiseen sellaisinaan. Kuvassa 6 alimpana näkyvä luonnos kannusta toimi 3D-mallinnuksen alkuna. Kuvissa 2–4 näkyy alkuvaiheen ideointia sekä luonnostelua.



Kuva 2. Alun ideointia sekä ensimmäisiä luonnoksia.



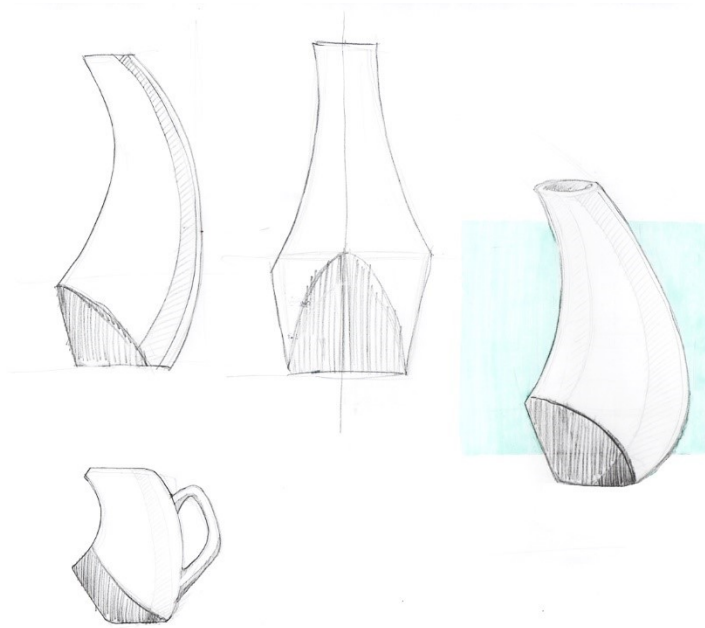
Kuva 3. Alun luonnostelua kuppien muodoista. Punaisella ympyröitynä espressokupin alkuperäinen luonnos, jonka pohjalta sen 3D-mallintaminen alkoi.



Kuva 4. Luonnoksia kupeista, sekä pintatekstuurista



Kuva 5. Jatkokehittyjä ideoita koottuna yhteen. Vasemmalla alakulmassa luonnoksessa nähtävä kuvion muoto toistuu astiaston kupeissa.



Kuva 6. Lisää ideoiden jatkokehittelyä sekä muotojen hahmottamista. Huomaa alimpana oleva luonnos kannusta, jonka pohjalta 3D-mallinnus alkaa.

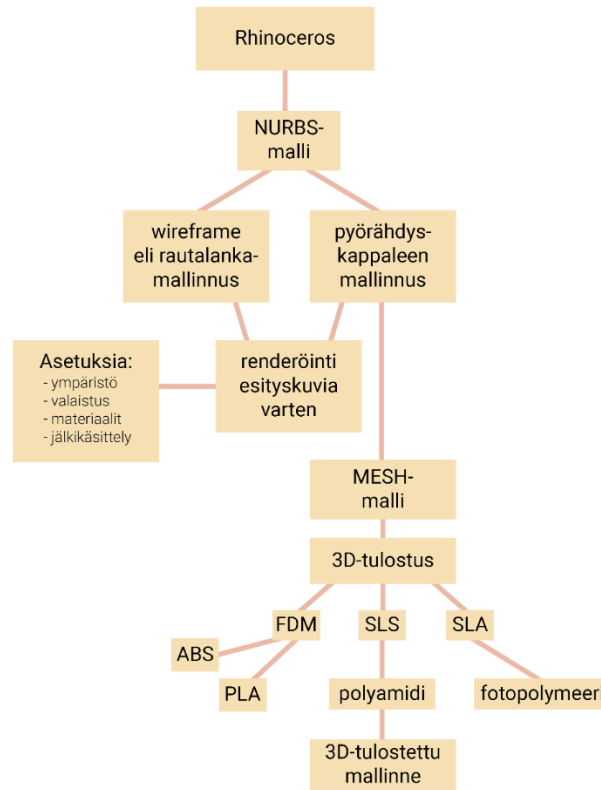
2.3 3D-mallinnus

3D on lyhenne kolmiulotteisesta, ja tulee englannin kielestä three dimensional. 3D-mallinnus on osa tietokoneavusteista suunnittelua, engl. CAD, computer-aided design, jossa tietokoneohjelmalla luodaan suunniteltavasta tuotteesta kolmiulotteinen malli. Pirin (haastattelu 20.9.2016) mukaan, 3D-mallinnus on keskeinen osa suunnittelutyötä. Muotoilijan käyttämä 3D-mallinnusohjelma toimii yhtenä työkaluna luonnostelun ja mallinrakennuksen rinnalla (Kettunen 2001, 104). Mallintaminen tapahtuu yleensä luonnosteluvaiheen jälkeen, jolloin niiden mahdollisuuksia pystytään tarkastelemaan kolmiulotteisesti, ja mahdollisia ongelmakohtia on tässä vaiheessa nopea korjata. Kettunen tiivistää 3D-mallintamisen suurimmaksi eduksi tiedon nopean siirtämisen eteenpäin muille tuotekehitysryhmän jäsenille, jolloin tuotesuunnitteluun käytetty aika lyhenee (Kettunen 2001, 106–107). 3D-mallinnusohjelmia ovat esimerkiksi Rhinoceros 3D, Blender, SolidWorks ja AutoCAD, joista minä käytin suunnittelussani koulun Rhinoceros 5.0 -ohjelmaa. Rhinoceros 3D lyhennetään yleensä Rhinoksi, jota myös tässä opinnäytetyössä käytetään.

2.3.1 3D-mallinnusprosessi

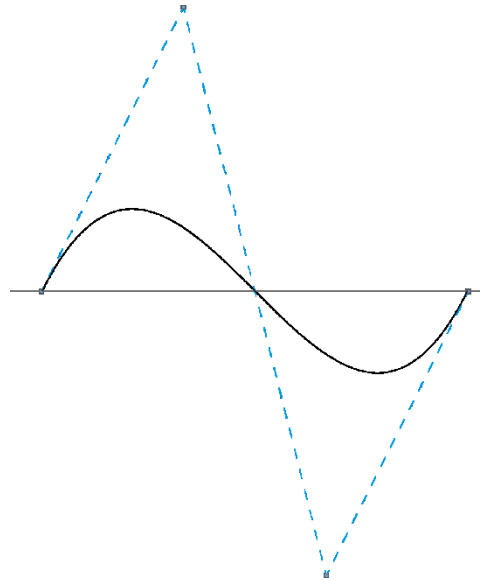
3D-mallinnuksen tavoitteena voi olla pelkästään idean hahmottaminen kolmiulotteiseen muotoon, jolloin käytetään NURBS-pohjaista 3D-mallinnusta. NURBSin heikkous on orgaanisten muotojen mallintamisessa, jolloin voi olla tarpeen käyttää pintamallinnukseen paremmin sopivia ohjelmia. Rhinoon on myös mahdollista asentaa erilaisia plugineja, jotka monipuolistavat ohjelman mallintamismahdollisuuksia. Mikäli tavoitteena on tehdä tuotteista esityskuvia renderöimällä tai viedä malli 3D-tulostettavaksi,

NURBS-pohjainen mallinnustapa on suositeltavaa. 3D-tekniikan prosessikaaviossa (kuvio 3) on havainnollistettu opinnäytetyössä käytävää prosessia. Prosessikaavio käsittää kaksi opinnäytetyössä käsiteltyä 3D-mallintamisen työtapaa, sekä renderöinnin ja mallin viemisen 3D-tulostukseen.



Kuvio 3. 3D-tekniikan prosessikaavio.

Edellä mainittu NURBS on standardityökalu 3D-mallinnuksessa kuvaamaan ja muotoilemaan geometriaa. NURBS on lyhenne, joka tulee englanninkielien sanoista Non-uniform rational basis-splines. Se on matemaattinen algoritmi 3D-mallinnusohjelmissa, joka mahdollistaa hyvin tarkan kuvauksen kappaleen geometriasta. NURBS-käyrät ja -pinnat (surface) toimivat samanlaisen periaatteen mukaisesti, mutta käyrät (kuvio 4) ovat huomattavasti yksinkertaisempia kuin pinnat.



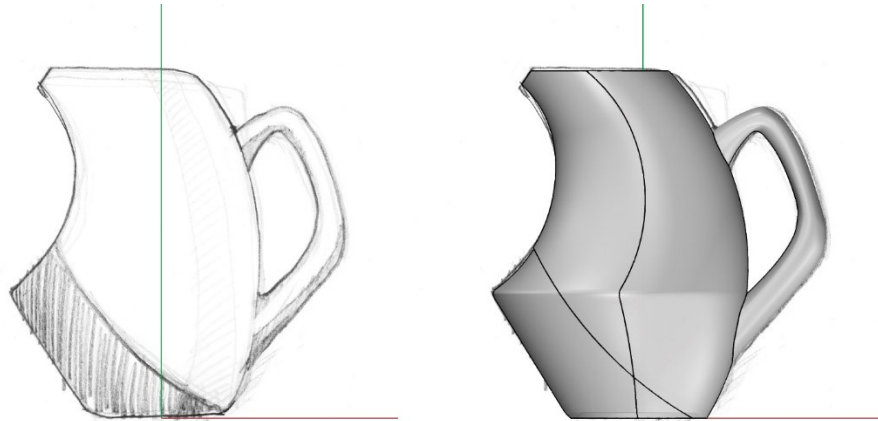
Kuvio 4. NURBS-käyrän toiminta kuvattuna Bézier-käyrän avulla. Laatikoin merkityt kontrollipisteet (4) vetävät käyrää niitä kohti sinisten katkoviivojen mukaisesti. Periaate vastaa kuvankäsittelyohjelmien kahvojen toimintaa.

3D-mallinnusvaiheessa tein mahdollisimman tarkat mallit luonnosten pohjalta. Ohjelmassa on mahdollista tuoda valokuva kolmiulotteiseen näkymään, ja piirtää mallin ääriviivat yhdestä perspektiivistä. Koska luonnokset eivät yleensä ole täysin symmetrisiä, eivätkä niistä otetut kuvat ole absoluuttisen kohtisuoria, mallinnusvaiheessa täytyy tehdä kriittisiä valintoja muodon suhteen. Liikaa luonnosten pohjalta tehty geometria voi johtaa epäsymmetriseen kappaleeseen, vaikka luonnoksen olikin tarkoitus kuvastaa symmetristä kappaletta. Luonnosten käyttäminen pohjana 3D-mallinnuksessa on kuitenkin hyvä keino tuoda 3D-mallinnukseen luonnosmaista omaperäisyyttä.

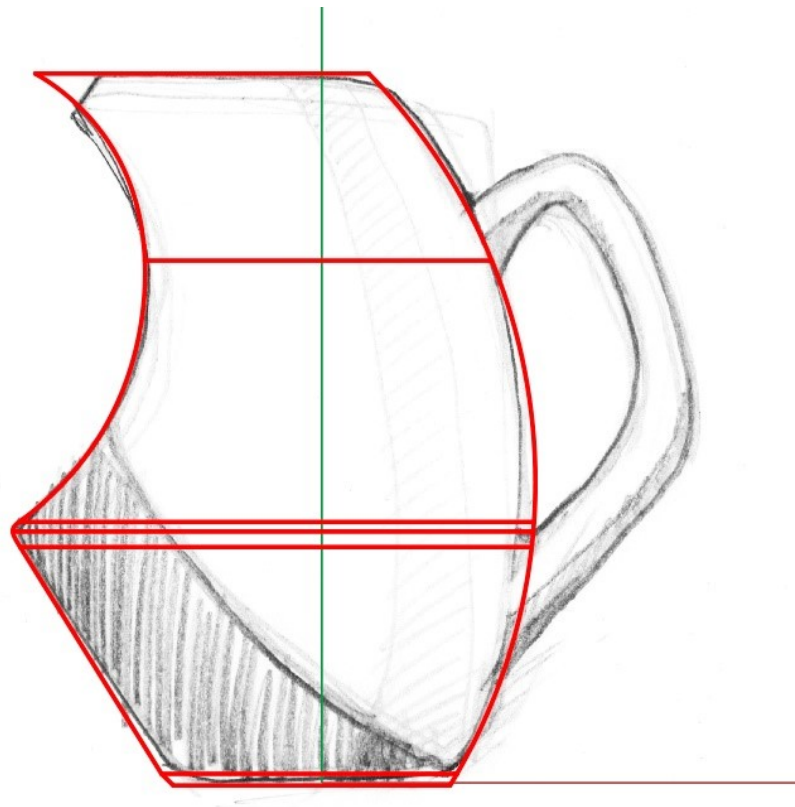
Riippuen suunniteltavasta kappaleesta, riittää muotoa hahmottavan käyrän piirtäminen yhdestä perspektiivistä. Esimerkiksi pyörähdyskappaleen mallista kuppia mallintaessa riittää poikkileikkauksen piirtäminen. Rhinossa kuppi saa kolmiulotteisen muotonsa Revolve-komennolla, joka pyöräyttää käyrän haluaman asteluvun tietyn akselin ympäri. Kuppia mallintaessa poikkileikkaus pyöräytetään 360 astetta keskiakselinsa ympäri, jolloin tuloksena on lähes valmis mallinnus kupista. Tekniikka on helppo ja nopea tapa havainnollistaa useita erilaisia suunnitelmia, ja verrata niitä keskenään kolmiulotteisina malleina.

Mikäli suunniteltava malli ei ole pyörähdyskappale, on 3D-mallinnus työläämpi prosessi. Erilaisten kappaleiden mallintamiseen on useita erilaisia työtapoja, joiden lopputulos on usein kuitenkin sama. Varmin tapa saada halutunlainen 3D-malli, on aloittaa suunnittelu käyriä hyödyntämällä. Kannua mallintaessa luonnosten pohjalta, piirsin ensin kappaleen ulkomuodot sivusta, jonka jälkeen jaoin kappaleen seitsemään korkeussuunnassa olevaan ympyrään (kuvat 7 ja 8). Ympyrän muotoiset profiilikäyrät muodostivat kannulle sen muodon. Kappaleen pysty- ja vaakasuuntaiset käyrät loivat sille rautalankamallin, josta oli mahdollista aloittaa pintojen rakentaminen (kuva 9). Kannun pystysuuntaiset käyrät toimivat ohjaajina Sweep 2 Rails-komennolle, jossa pinta rakentuu kahden käyrän ja yhden tai useamman

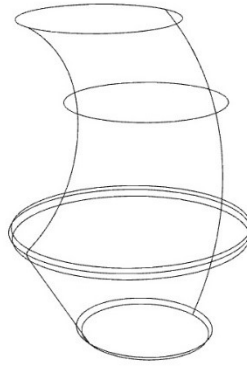
poikkileikkauksen (cross section) mukaisesti. Yhtenäisen kappaleen avo-
naiset päät oli mahdollista sulkea Cap-komennolla, jolloin tuloksena oli sul-
jettu moniosainen pinta (kuva 10).



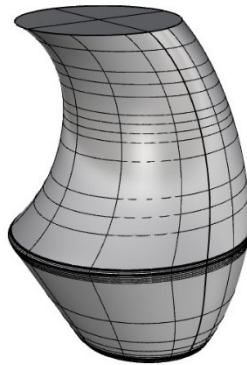
Kuva 7. Jatkokehitelty luonnos kannusta, ja sen pohjalta tehty 3D-mallinnus Rhinoce-
ros 5.0:ssa



Kuva 8. Sivunäkymän jakaa seitsemän vaakasuuntaista viivaa sekä kaksi korkeussuun-
taista kaarta, jotka muodostavat kannun rautalankamallin.

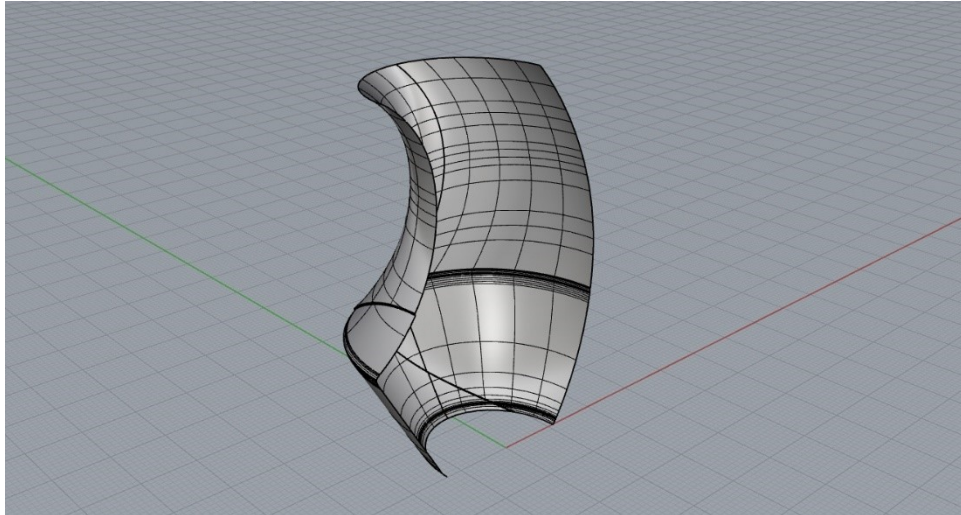


Kuva 9. Kannun rautalankamalli ennen pintojen rakentamista



Kuva 10. Kannun perusmuoto valmiina ennen kahvan ja teksturoidun etuosan mallintamista.

Syvennyksen tekeminen kannun pintaan aiheutti hankaluuksia, koska 3D-mallin rakenne hajosi erilaisia tekniikoita kokeillessa. Lopulta toimivaksi tekniikaksi osoittautui pinnan leikkaaminen joko Split- tai Wire Cut -komennolla, riippuen siitä kumpi antoi halutun tuloksen. Lopputuloksena oli pääkappaleesta irrallinen etuosa, joka oli mahdollista kopioida haluttuun syvyyteen Offset Surface -komennolla. Tämän jälkeen alkuperäisen pinnan saattoi poistaa, tai säilyttää tallessa piilottamalla se layerille. Tämän jälkeen Offset Surface -komennolla kopioitu pinta yhdistettiin pääkappaleeseen rakentamalla niiden välille yhdistävä pinta Sweep 2 Rails -komennolla, jossa kahden kappaleen pinnat toimivat ohjaavina käyrinä. Yhdistäessä kappaleita takaisin Join-komennolla yhtenäiseksi moniosaiseksi pinnaksi, ohjelma ilmoitti kappaleen olevan silti avonainen. Tämä tarkoitti sitä, että mallissa on toleranssin ylittäviä reikiä, jotka on manuaalisesti paikattava erilaisia korjausmetodeja käyttäen. Mikäli malli on rakennettu 3D-mallinnusohjelmassa sen rakennustasolle (CPlane, construction plane) nolapisteeseen, ja malli on tietystä suunnasta katsottuna symmetrinen, on mahdollista halkaista malli puoliksi ja tehdä korjaukset siihen (kuva 11). Kun puolikas malli on korjattu, on helppo kopioida ehjä puolikas Mirror-komennolla symmetrian mukaisesti kokonaiseksi ja liittää ne Join-komennolla yhtenäiseksi. Monimutkaisissa korjaustoissa tämä säästää runsaasti aikaa.

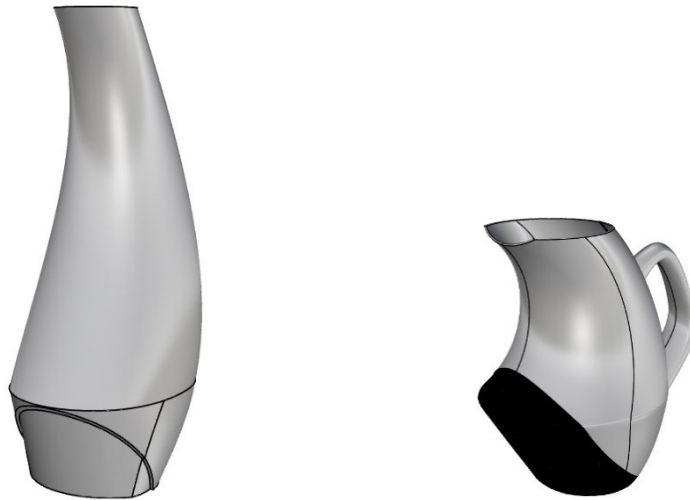


Kuva 11. 3D-mallin työstämistä puolikkaana, jolloin korjaukset tehdään vain toiselle puolelle. Korjattu puolikas kopioidaan Mirror-komennolla keskpisteen kautta symmetriseksi, ehjäksi malliksi.

Mallin etuosan syvennykseen tehtiin digitaalinen teksturointi kelopuun pinnan mukaiseksi. Se onnistui Rhinon Displacement-komennolla, joka antaa esimerkiksi valokuvan valkoisille ja mustille pinnoille eri korkeudet. Ohjelmassa nämä säädöt ovat white point ja black point, jolloin mustavalkoisesta kuvasta saa halutessaan valkoisen tai mustan pinnan koholle. Tämä on kuitenkin vain renderöity vaikutelma, joka tarvitsee erikseen tuoda meshiksi, jotta se on mahdollista 3D-tulostaa. Displacement-komento rasittaa tietokonea paljon, erityisesti nostamalla toiminnon käyttämään tarkkuutta Very- tai Extremely High -tasoille. Tämä hidastaa myös Rhinon toimintaa ja mallin tarkasteleminen ja muokkaaminen hidastuvat merkittävästi. Displacement rakentuu pinnalle sen UV-koordinaattien mukaisesti, joita on mahdollista säätää ohjelmassa Dir-komennolla.

Meshiksi rakennettu kelomainen pintatekstuuri osoittautui haastavaksi yhdistää NURBS-pohjaiseen malliin, joka onkin käytännössä mahdotonta. Pinnat pidettiin erillään, kunnes NURBS-malli käännettiin mesh-muotoon, jolloin kappaleet oli mahdollista yhdistää Join-komennolla. Rhinon Show Edge -komennolla tarkasteltua liitoksen toimivuutta, ohjelma ilmoitti yli 4000 avointa sivua, joka on suuri ongelma mallia vietäessä 3D-tulostettavaan muotoon. 3D-tulostettavassa mallissa ei saa olla yhtäkään avonaista sivua, vaan mallin on oltava ns. vesitiivis.

Kannu oli ensimmäinen mallinnettava astia, josta tein kaksi versiota luonnosten pohjalta. Ensimmäistä kannua mallintaessa huomasin, ettei se sellaisenaan vastaa ajatuksiani tai luonnoksia (kuva 12). Toista luonnosta mallintaessani kolmiulotteiseen muotoon, havaitsin sen sopivan paremmin astiaston kannuksi. Toista kannua mallintaessa kohtasin myös suurimmat haasteet koko astiastosta. Syvennyksen tekeminen, osien liittäminen takaisin ehjäksi malliksi, oikean näköinen kelopuinen tekstuuri, sekä mahdollisimman ergonomisen kahvan suunnittelu olivat kannua mallintaessa haastavia.



Kuva 12. Vasemmalla 3D-mallinnusvaiheessa pois rajautunut kannun 3D-malli. Oikealla kahviastiastoon päätynyt kannun 3D-malli.

Muihin astiaston osuuksiin siirtyessä oli helpompaa ja nopeampaa mallintaa astioita, kun esityö oli tehty kannun mallinnusvaiheessa. Poikkeuksena tästä oli kuitenkin vaihtoehtoinen lautasmalli, jonka pintaan yritin saada parametrilla, mutta satunnaista pintakuviointia. Tämän tekemiseen vaadittiin Grasshopper-pluginia, jolloin mallin ja kuvioinnin mittasuhteita on mahdollista muokata ilman että mallia tarvitsee uudelleen mallintaa. Lisäksi erilaisten satunnaisuusparametrien asettaminen on mahdollista Grasshopperilla, jotta ne sopivat lautasen mallin asettamiin rajoihin. Grasshopperilla mallintaminen poikkeaa melko huomattavasti perinteisestä 3D-mallinnuksesta, ja vaatii aikaa saada halutunlainen tulos aikaiseksi. Lopputulos (kuva 13) ei kuitenkaan vastannut täysin odotuksiani, joten kyseinen lautasmalli karsiutui pois astiastosta, vaikka sen mallintamiseen oli käytettykin runsaasti aikaa.

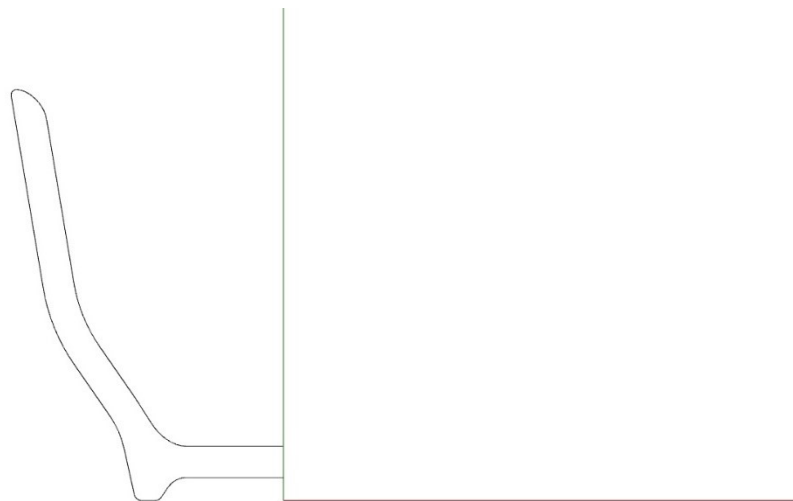


Kuva 13. Renderöity kuva Grasshopper-pluginilla luodusta pintakuvioinnista. Kuva on lautasen alapinnasta.

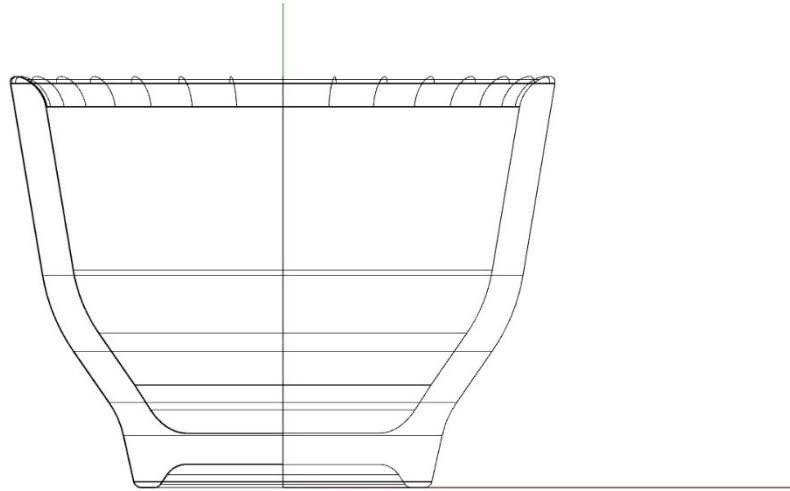
Espressokupin mallintaminen lähti myös luonnoksen pohjalta (kuva 3), joskin tässä tapauksessa ajatuksena olevat mittasuhteet sekä ulkonäkö määrsivät mallintamista enemmän kuin alkuperäinen luonnos. Suoraan luonnoksen pohjalta tehty poikkileikkaus ei tuottanut haluttuja tuloksia Revolve-komennolla, joten muutoksia oli tehtävä lennosta. Kappaleen kokoa määritteli haluttu tilavuus, joka oli n. 70–90 ml, sillä havaintojeni pohjalta päätin suunnitella tuplaespressokupin. Havainnoin asiaa pääosin internetin espressoon keskittyvien keskustelupalstojen ja nettiartikkeleiden pohjalta, että yleensä espressokupit ovat tilavuudeltaan suurempia kuin kaksi shottia espressoa (Espresso Cups Guide n.d.).

Shotti tarkoittaa n. 7–9 g jauhettua kahvia, ja tupla on tällöin 14–18 g. Kahviloissa espressokoneen sihti on yleensä asennettuna tuplaespresso varten, jolloin tuplaespressosta on tullut lähes standardikoko. Erikoiskahveja varten tehdyt annokset tehdään jakamalla tuplaespresso kahdeksi n. 30 ml annokseksi. Tämä työskentelytapa on nopeuttanut asiakkaiden palvelua kahviloissa. (Gryphon Coffee 2016.) Tiedostettuina tai tiedostamatta espressokahvin juojat yleensä juovatkin espressokahvinsa tuplana, jonka tilavuus on n. 60 ml. Siten oli mielestäni järkevämpää suunnitella tilavuudeltaan isompi espressokuppi, josta voi juoda sekä single- tai tuplashotin espressoja. Lisäksi oli laskettava tilavuuteen hieman ylimääräistä, jotta espressokahvi ei täyttäisi kuppia piripintaan.

Sopiva tilavuus espressokupille tuli kokeilemalla Revolve-komennon nopeaa mallintamista hyödyntäen (kuvat 14 ja 15). Rhinossa Analyze-valikon alla on mahdollista mitata kappaleen tilavuus kuutiomillimetreissä. Espressokupin muodon hahmottaminen lähti ulkopintaa määräävästä profiilista, joka tuli luonnosten pohjalta piirretystä NURBS-käyrästä. Reunan etäisyyttä keskipisteestä muuttamalla myös espressokupin tilavuus muuttui, kappaleen korkeuden pysyessä lähes muuttumattomana. Pienillä säädöillä poikkileikkauksen mittasuhteisiin, tilavuus saatiin haluttujen raja-arvojen sisälle. Rhinolla mitattu tilavuus hieman kupin yläreunan alapuolelta oli 86 ml.



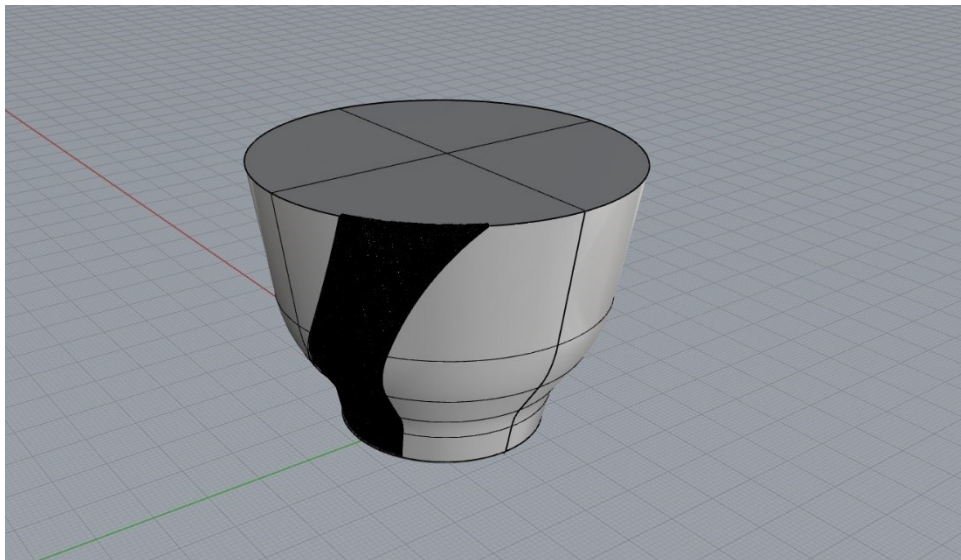
Kuva 14. Espressokupin poikkileikkaus ennen Revolve-komentoa



Kuva 15. Espresso-kuppi Revolve-komennon jälkeen

2.3.2 3D-tulostukseen vienti

Espressokupin ulkopinnan syvennys kelotekstuurilla tehtiin samalla tekniikalla kuin kannussakin, eikä tämän toteuttamisessa ollut ongelmia. Kupille suunniteltiin korva kannun kahvan pohjalta, ja se mitoitettiin kupin mittasuhteisiin sopivaksi. Kupista mallinettiin oikeaa kuppia muistuttava versio, jota käytettiin esityskuvien renderöintiin, sekä 3D-tulostukseen sopiva versio jossa on huomioitu 12 %:n mittakutistuma.



Kuva 16. Espresso-kupin 3D-malli, jossa NURBS-malli on yhdessä MESH-kelotekstuurin kanssa.

3D-tulostusta varten espressokuppi mallinettiin umpinaiseksi, jolloin valumuottia tehdessä ei tarvitse erikseen tukkia kupin sisustaa (kuva 16). Espresso-kuppi mallinettiin alun perin tulostettavaksi koulun Fused Deposition Modeling (FDM) -tulostimella, joka pursottaa sulaa muovia tulostusalustalle, ja rakentaa tarvitsemansa tukimateriaalin itse. Lisäksi tulostimen

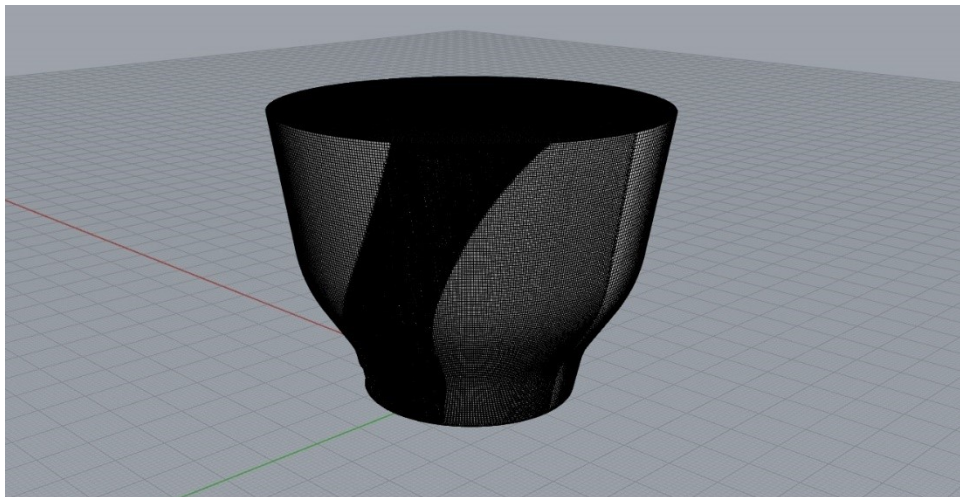
kanssa käytettävä ohjelmisto määrittelee käytettävän tukimateriaalin tiheyden suhteessa täytettävään tilaan, sekä sen muodon. 3D-tulostimista ja niiden eroista on kirjoitettu tarkemmin luvussa 3.2 (3D-tulostus).

Käytettävä tulostusmenetelmä vaikuttaa myös 3D-mallin vaatimuksiin. Espresso-kupin 3D-tulostusta varten tehtiin ensin yksi versio FDM-tulostukseen, ja toinen versio myöhemmin lasersintraus (SLS) tulostusta varten. SLS-tulostuksessa ei tule erillistä tukimateriaalia, vaan tulostimen lasersäde sintraa tarvittavat alueet muovina kerroksittain polyamidipulverialtaassa. Tukimateriaalin puuttuminen tarkoittaa 3D-mallille sitä, että tulostettavan kappaleen reunan paksuuteen on kiinnitettävä erityistä huomiota. SLS-tekniikalla umpinaisten kappaleiden tulostaminen on huomattavasti kalliimpaa, jolloin kuluissa säästää, kun tekee sisältä onton 3D-mallin. SLS-tekniikan 3D-tulostimia on yleisesti vain alaan perehtyneiden yritysten käytössä, jolloin tulostettava kappale on tilattava yritykseltä.

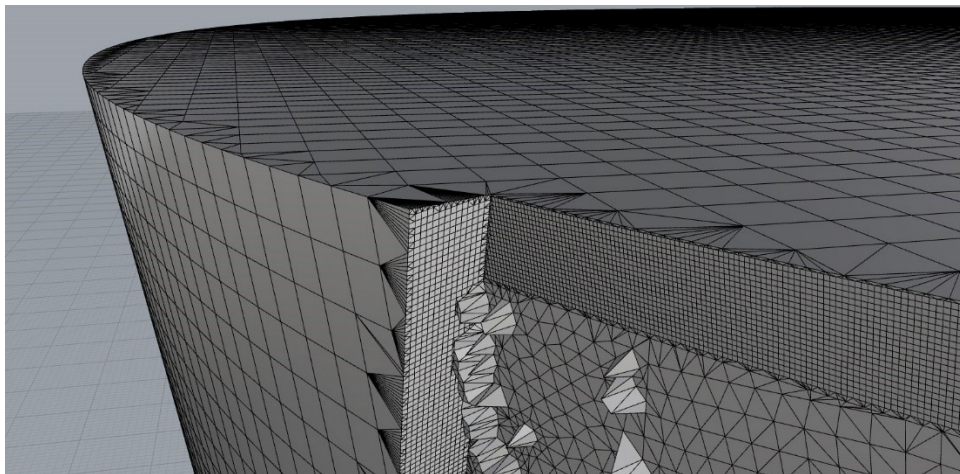
Koululla 3D-mallin tulostaminen ei ollutkaan mahdollista, sillä saatavilla ei ollut uudempaa ja tehokkaampaa tietokonetta 3D-tulostimen kanssa käytettäväksi, joka olisi jaksanut pyörittää vaativamman 3D-mallin tulostusta. 3D-tulostinta ohjataan tietokoneelle asennetun ohjelmiston avulla, tässä tapauksessa Repetier Hostilla. Kävin kuitenkin tutustumassa koulun 3D-tulostimeen ja sen asetuksiin siitä vastaavan koulun työntekijän kanssa. Lataimme espresso-kupin 3D-mallin STL-tiedostomuodossa Repetier Host -ohjelmaan, ja suoritimme sille työmenetelmiin kuuluvan slicing-vaiheen. Slicing tarkoittaa kappaleen jakamista tulostussuunnassa, eli esimerkiksi korkeussuunnassa, tulostuspään korkuosiin kerroksiin. Tämä vaihe valmistele 3D-mallin tulostusta varten. Slicing-vaihetta edeltää haluttujen asetusten määrittely, esimerkiksi tukimateriaalin määrä, sen muodostaman tukiverkoston muoto sekä haluttu kerrosten tarkkuus. Tukiverkoston muotoja ovat esimerkiksi Honeycomb, eli kuusikulmainen hunajakennoa muistuttava rakenne, sekä ”ristiin rastiin”-verkosto, jossa tulostin rakentaa tukimateriaalin kerroksittain ristiin. Tietokoneen ja 3D-tulostimen yhteistyö ei sujunut aivan odotetunlaisesti, vaan tietokone jumittui useasti esivalmistelujen aikana. Myöhemmin 3D-tulostuksesta vastaava henkilö suositteli käyttämään jotain muuta 3D-tulostinta, sillä hän ei onnistunut tarvitsemassani aikarajassa hankkimaan uudempaa tietokonetta 3D-tulostimen käyttöön.

Tilanteesta johtuen, päätin vaihtaa käytettävän 3D-tulostustekniikan tarkempaan SLS-tulostukseen, jos 3D-malli olisi tilattava yritykseltä. 3D-tulostuksesta vastaavista yrityksistä ja 3D-mallien tilaamisesta on kirjoitettu tarkemmin luvussa 3.2 (3D-tulostus). 3D-mallinnusprosessiani hidasti huomattavasti tulostustekniikan vaihtuminen, ja onkin siten suositeltavaa miettiä käytettävän 3D-tulostustekniikan vaatimukset 3D-mallilta ennen mallintamisen aloittamista, jotta tilausvaiheen ongelmilta voidaan vältyä. FDM-tekniikka on anteeksi antavampi mallin sisäpinnan suhteen, jolloin riittää, että ulkopinta on toimiva 3D-malli, ja 3D-tulostin vastaa kappaleen sisäpinnan muodostamisesta. SLS-tekniikka sen sijaan tulostaa umpinaisen kappaleen, mikäli tiedosto sisältää vain 3D-mallin ulkokuoren, eikä yrityksen kanssa ole muusta sovittu.

Yrityksen tekemät muutokset 3D-malliin ovat muotoilijalle epäsuotuisia, sillä lopullisesta muodosta vastaa tällöin joku muu kuin suunnittelija itse. On siis suositeltavaa, että 3D-mallin sisäpinnat ovat myös suunnittelijan itsensä mallintamat. Koska sisäpinnat eivät ole ulkoisesti havaittavissa, niihin ei tarvita samaa tarkkuutta kuin ulkopinnoille. Lasersintrattu polyamidi on rakenteeltaan kuitenkin haurasta ilman sisätilan tukirakennetta, ja voi rikkoutua valumuotin tekovaiheessa. 3D-tulostuksesta vastaava yritys suosittelee erillisen tukirakenteen mallintamista 3D-mallin sisälle, jotta kappale kestää valumuotin tekemisen mallista. Ongelmia mallinnukseen kuitenkin ilmeni, sillä 3D-mallin ulkopinnan kopioiminen pienempänä versiona mallin sisäpinnaksi aiheutti pintamallin ”rikkoutumisen”. Pinnat eivät minulle tuntemattomasta syystä skaalautuneet sujuvasti, vaan aiheuttivat reikäisen mallin, jota ei ollut mahdollista tulostaa. Tämä vaati sisäpintojen rakentamisen alusta alkaen. Loppujen lopuksi lähetin 3D-tulostusyritykselle kolme tiedostoa espressokupista sekä yhden kupin korvasta. Tiedostot sisälsivät espressokupin pelkän ulkokuoren, espressokupin 2 mm paksuisella seinämällä sekä espressokupin 2 mm paksuisella seinämällä sekä tukimateriaalilla. Yritys käytti näistä kuitenkin ensimmäistä, sillä STL-tiedostoissa kuppien sisäpinnoissa oli heidän ohjelmiston mukaan pintojen rakenteet nurinpäin. He tekivät omalla ohjelmistollaan malliin 3 mm paksuisen seinämän.



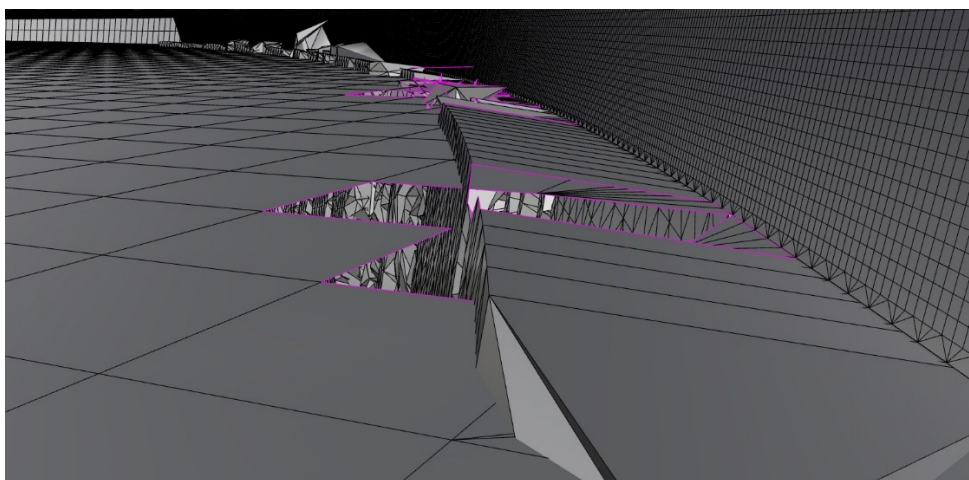
Kuva 17. Mesh-malli 3D-tulostettavasta espressokupista



Kuva 18. Lähikuva Mesh-mallin pinnasta.

Käytännössä tulostustekniikan vaihtuminen FDM:stä SLS:ään tarkoitti sitä, että 3D-mallille oli luotava tarpeeksi vahva reuna. Tapoja sen tekemiseen on useita, joista voidaan mainita esimerkiksi Offset Surface, Shell, Solid Offset -komennot sekä itse manuaalisesti sisäpinnan rakentaminen pinoilla. Näistä ensimmäiset kolme komentoa eivät toimineet mallini kanssa, vaan ne tuottivat epäjohdonmukaisia tuloksia, eivätkä niiden luomat pinnat olleet yhtenäisiä tai suljettuja. Jäljelle jäi tehdä mallille sisäpinnat käyttäen hyödyksi offset surface -komentoa sekä korjata epäjohdonmukaiset pintojen kopiot.

Onnistuin loppujen lopuksi luomaan kappaleelle sisäpinnan, mutta ongelmaksi osoittautuikin kappaleen ulkopinta, jossa oli yhdistettävä mesh-pohjainen kelotekstuuri NURBS-malliin. Kuten aiemmin todettiin, tämä on mahdollista tehdä muuttamalla myös kupin NURBS-malli mesh-muotoon (kuvat 16 ja 17). Meshin työstäminen on NURBS:iin verrattuna hitaampaa ja työläämpää, sillä se koostuu useista sadoistatuhansista polygoneista eli pintalapuista. Kahden meshin yhteen liittäminen ei sujunut toivotulla tavalla, vaan lopputuloksena oli yli 4000 avonaista sivua eli edgeä. Rhinon mesh repair -työkaluilla on mahdollista korjata automaattisesti meshin ongelmakohtia, mutta se ei aina tuota haluttuja tuloksia. Mallini tapauksessa se automaattinen korjaus tuotti enemmän ongelmia kuin mitä se onnistui ratkaisemaan. Rhinon meshin korjaustyökaluihin kuuluu myös Match Mesh Edge -työkalu, joka auttaa erillään olevien meshien löytämään yhteisiä kiinnityspisteitä. Tällä työkalulla oli mahdollista vähentää avonaisia sivuja meshissä yli 4000:sta alle 2000:een. Useiden automaattisten korjausyritysten jälkeen, oli pakko korjata jokainen avonainen sivu manuaalisesti tekemällä ensin avonaiseen kohtaan suurempi reikä, ja sen jälkeen yhdistää osat uudelleen (kuva 19). Työ oli erittäin hidasta manuaalisesti tehtynä. Korjauksen jälkeen minulla oli ehjä, kaikki Rhinon 3D-tulostusta varten tehtävät analysoinnit läpäisevä malli. Tämän malli oli kuitenkin vasta ulkokuori, ja sellaisenaan se tulostuisi umpinaisena.



Kuva 19. Mesh-pinnan korjaamista manuaalisesti. Mesh-pinnan avonaiset sivut ovat tässä kuvassa merkitty pinkillä värillä.

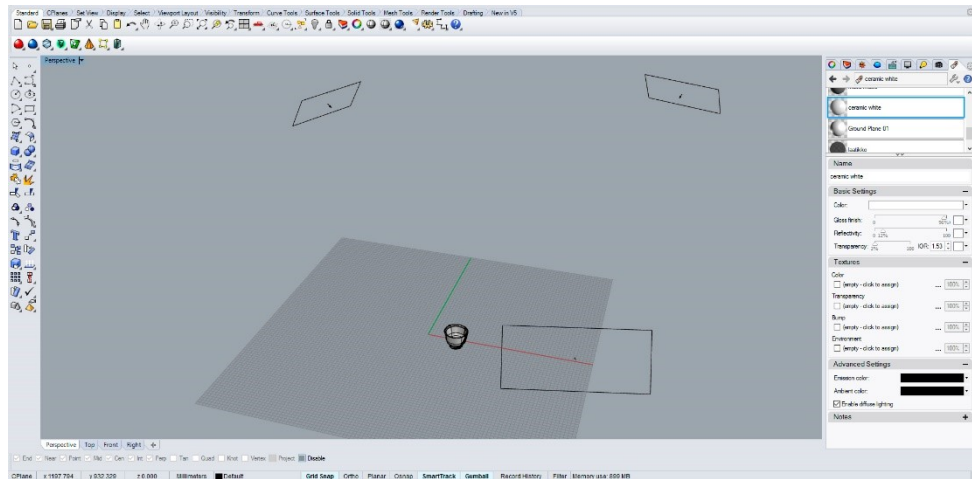
2.4 Esityskuvien tekeminen kahviastiastosta

Esityskuvia käytetään yleisesti esittämään konseptin tai suunnitelman ydinidea ja toiminnallisuus. Niiden tarkoitus on esimerkiksi esitellä konseptia tuotekehitysryhmän ulkopuolisille vaikuttajille eli asiakkaalle, yrityksen johdolle, jälleenmyyjille tai käyttäjille. Esityskuvat esittävät ideat niin positiivisesti kuin mahdollista, käyttäen joko huopakynäteknikalla tehtyjä piirustuksia tai tietokoneella tehtyjä visualisointeja. (Kettunen 2001, 96.) Tämän kahviastiaston esityskuvat on tehty Rhinoceros 5.0 -ohjelman ilmaispluginilla Neon 1.0:lla, joka toimii suoraan yhdessä Rhinon näkymistä. Muita renderöintipluginia Rhinolle ovat esimerkiksi Flamingo NXT, Brazil sekä Vray.

Renderöinti muodostaa 3D-mallista bittikarttakuvan esimerkiksi JPG-muotoon. Renderöintiin kuuluu pinnan materiaalin säätäminen halutun näköiseksi, valaistuksen luominen 3D-tilaan, 3D-ympäristön asettaminen, sekä kuvan kaappaaminen haluttuun tiedostomuotoon. Kuvaa on myös mahdollista käsitellä jälkikäteen erilaisilla jälkiefekteillä. Tärkeintä on luoda 3D-mallille uskottava materiaalin tuntu asettamalla oikea tekstuuri, pinnan väri, heijastusasetukset, sekä tarpeen mukaan läpinäkyvyys ja valon taitekerroin. Näiden lisäksi oikeanlainen valaistus yhdessä halutun ympäristön kanssa luo parhaimmillaan fotorealistisen vaikutelman 3D-mallista. Suunnittelija Markku Piri mukaan, 3D-mallinettujen esityskuvat ovat keskeinen osa suunnittelutyötä, jolloin taitavasti toteutetuilla esityskuvilla on mahdollista esittää ideat vakuuttavasti potentiaaliselle yhteistyökumppanille tai asiakkaalle. Tarkoituksena on esittää niin visuaalisesti kuin teknisesti vakuuttava mielikuva konseptista. Lisäksi 3D-mallinnettujen esityskuvien yhteydessä on mahdollista puhua tuotteiden teknisistä ominaisuuksista. (Piri, haastattelu 20.9.2016.)

3D-mallintamisen tarpeellisuudesta Markku Piri painottaa, että kyse on kokonaisvaltaisesta suunnitteluprosessista, jolloin eri vaiheissa on mahdollista havaita mielenkiintoisia asioita, joita ei ole vielä viety lopulliseen hahmoon. Hän lisää, että 3D-mallinnusvaiheessa voi tulla ilmi sellaisia teknisiä kysymyksiä – joko teknisiä mahdollisuuksia tai ongelmia – jotka on otettava yhteistyökumppanien kanssa huomioon. (Piri, haastattelu 20.9.2016.)

Tein Rhinolla esityskuvat kaikista kahviastiaston esineistä yksitellen muutamasta eri kuvakulmasta. Erilaisten kokonaisuuksia esittäessä, on tärkeää, että kuvat ovat vertailukelpoisia keskenään, eikä tekniikassa tapahdu suuria eroavaisuuksia kokonaisuuden osien kesken. Tasalaatuiset kuvat takaavat luotettavan ja vertailukelpoisen kokonaisuuden. Kahviastiastosta tehtiin myös kokoelma kuvituksia, joissa kokonaisuus näyttäytyy parhaiten edukseen. Esityskuvien valaistuksessa käytettiin pääsääntöisesti ohjelman skylight-valaistusta, sillä se riitti valaisemaan kohteet tasaisesti. Skylight imitoi luonnollista taivaalta tulevaa valoa, joka valaisee ympäristön tasaisesti, ja heijastuu myös takaisin pinnoilta. Materiaali säädettiin vastaamaan valkoiseksi lasitettua keraamista pintaa, sekä teksturoiduissa kohdissa materiaali vastasi mustaa mattalasilattia. Ympäristönä renderöintiasetuksissa oli Rhinon oma studioympäristö, joka löytyy ohjelman omasta kirjastosta. Kuvissa 20 ja 21 on nähtävissä renderöintivaiheen asetuksia sekä edistymistä.



Kuva 20. Ylhäältäpäin otettu kuvakaappaus ruudulta ennen renderöintiä. Kuvan laatikot ovat tarpeen mukaan käytettäviä lisävaloja.



Kuva 21. Kuva keskeneräisestä renderöinnistä Neon 1.0:lla, jossa on havaittavissa rakeisuutta. Kuvan rakeisuus vähenee mitä pidemmälle renderöinti etenee.

3 ASTIASTON PROTOTYYPIN VALMISTUS

Tässä luvussa käsitellään kahviastiaston espressokupin prototyypin valmistusta. Prototyyppi tarkoittaa viimeistelyä kolmiulotteista mallia, jonka valmistukseen ei välttämättä käytetä samoja materiaaleja tai tuotantotapoja kuin lopullisessa tuotteessa. Prototyypeillä on mahdollista saada yksityiskohtaista tietoa siitä millainen lopullinen tuote tulisi olla, sekä havaita mahdollisia virheitä suunnittelussa ja kehittää uusia ajatuksia. (Kettunen 2001, 98–101.)

Prototyypin valmistusprosessi alkaa teknisten piirustusten tekemisellä espressokupista. Tämän jälkeen malline tilataan 3D-tulostettuna, jatkuen mallineen esivalmisteluista valumuotin valmistukseen. Valmistusprosessi päättyy prototyypin valamiseen, viimeistelyyn ja raakapolttoon, sekä lopulta lasitukseen ja lasituspolttoon.

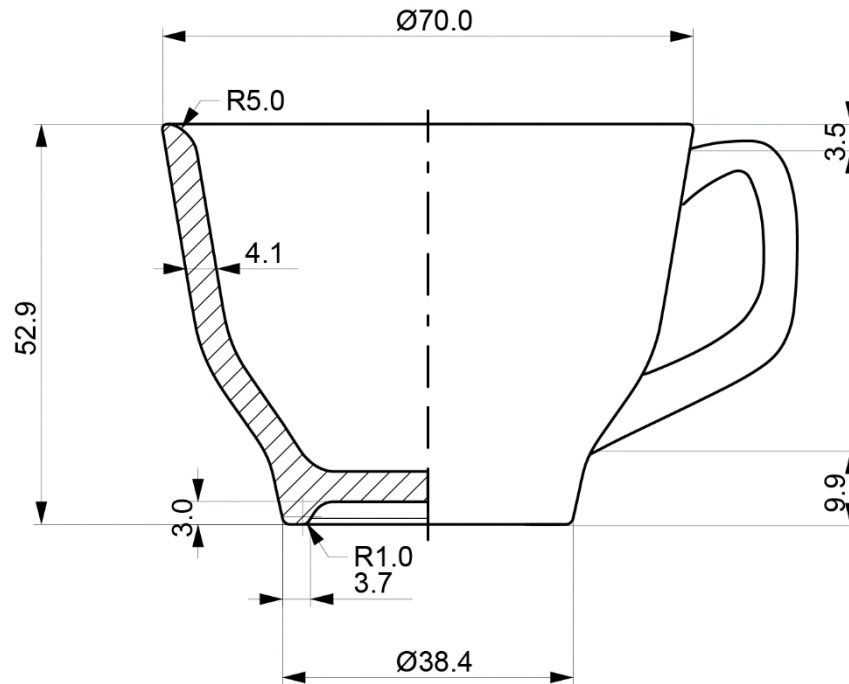
3.1 Tekniset piirustukset

Tekniset piirustukset ovat kuvan muotoon laadittuja suunnitelmia, joita voidaan käyttää kuvaamaan teknisen suunnittelutyön lopputulosta. Nykyään tekniset piirustukset tulevat tietokoneavusteisen suunnittelun sivutuotteena, eikä niiden tekemiseen enää liity varsinaista piirtämistä. Suoraan 3D-malleista tuotetut piirustukset tuotetaan kuitenkin usein paperi- tai muovitulosteina, sillä työskentelytiloissa on yleensä helpompi katsoa ohjeita paperilta kuin näytöltä. Lisäksi mahdolliset asiakkaat tai yhteistyökumppanit haluavat edelleen nähdä tuotteesta paperitulosteita. (Heikkilä 1997, 8.) Teknisten piirustusten tekemiseen ei välttämättä tarvita muuta kuin 3D-mallinnusohjelma, mutta olen havainnut hyödylliseksi viedä 2D-piirustukset Adobe Illustrator -kuvankäsittelyohjelmaan, ja tehdä tarvittavat korjaukset sillä. Lisään myös otsikkotaulun tarvittavine tietoineen Illustratorilla.

Teknisten piirustusten tekeminen vaatii suunnittelijalta valmistusmenetelmän tuntemisen, sillä muodot, mitat ja materiaalit määräytyvät pitkälti sen mukaan. Lisäksi valmistussarjan koko vaikuttaa paljon valmistusmenetelmään ja siten muotoiluun. Esineen tai tuotteen tekninen piirustus esitetään kuvatasolla projektiosäteiden avulla, jolloin syntyy projektio eli kuvanto. Usein esineestä riittää yksi kuvanto, jos paksuuden tai halkaisijan tiedot on ilmaistu muulla tavalla. Kaksi kuvantoa lienee silti yleisin määrä 2D-kuvaukselle. Esineestä tai tuotteesta on myös mahdollista esittää leikkauskuvanto, mikäli siinä on kappaleen sisäisiä muotoja. Tällöin valitaan joko kokoleikkaus tai puolileikkaus, ja leikattu pinta merkitään yleensä vinoviivituksella. Puolileikkausta käytetään yleensä symmetrisissä ja erityisesti poikkileikkaukseltaan pyöreissä kappaleissa. Esitystavan havainnollistavuuden vuoksi sitä käytetään piirustuksissa paljon. (Heikkilä 1997, 75, 22–34, 37 ja 92.)

Laadin tekniset piirustukset sekä valmiista espressokupista (liite 1), sekä työpiirustukset valumuotin valmistusta varten (liite 2). Merkittävin ero näissä piirustuksissa on käytetyt mitat, sillä työpiirustuksissa mallineen mittoihin on huomioitu poltoissa tapahtuva kutistuma. Kutistuma on yleensä noin 12 prosenttia raakamitoista, mutta voi vaihdella riippuen esimerkiksi

eri valumassoista. Työpiirustuksissa mittoja on enemmän, jolloin valumuotti on mahdollista rakentaa haluttuihin mittoihin, ja Rhinolla valmiiksi lasketut tilavuudet ovat paikkaansa pitäviä. Valmiin espressokupin mitoissa on enemmänkin huomioitu laaduntarkkailu sekä kupin kokoonpano korvaa liitettäessä. Espressokuppi on kuvattu pääprojektiossaan edestä (kuva 22), sekä ylhäältä havainnollistamaan korvan sijaintia kuviointiin nähden. Lisäksi espressokupista on 2:1:een suurennos perspektiivikuvana. Tarpeelliset mitat on kuitenkin ilmaistu vain pääprojektiossa.



Kuva 22. Espressokupin teknisen piirustuksen pääprojektiio puolileikkauksena.

3.2 3D-tulostus

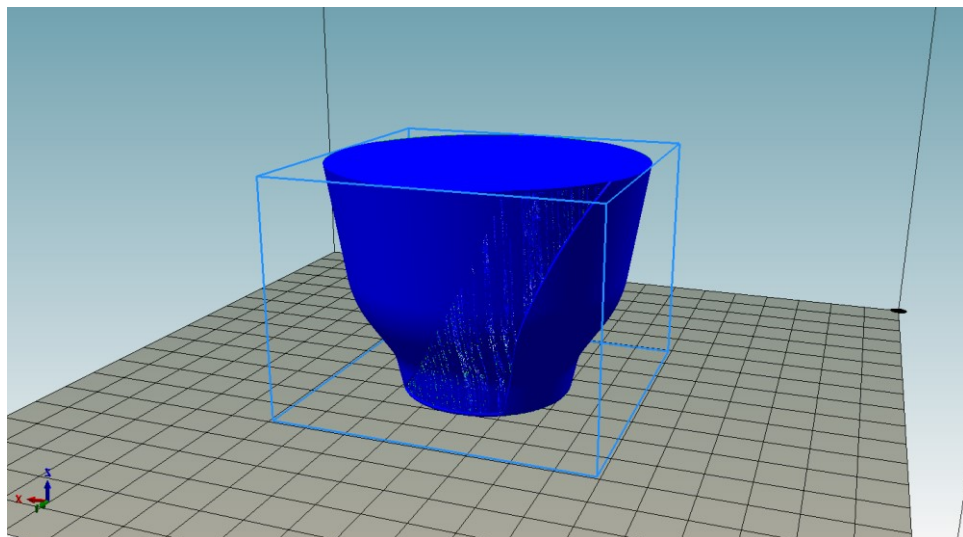
Havainnoin 3D-tulostamista siihen keskittyvillä messuilla Vantaan Energia Areenalla 16.4.2016 Nordic 3D Expossa. Messuilla oli mukana lähes 40 näytteilleasettajaa sekä Suomesta että ulkomailta. Nordic 3D Expossa oli edustettuna alan uusien tekniikka, kärkiyritykset ja uudet innovaatiot. (Andersson & Tuomi, messuesite 16.4.2016). Tutustuin messuilla erityisesti 3D-tulostusta Suomessa tarjoaviin yrityksiin, joita paikalla oli esimerkiksi Grano 3D Oy, 3D Formtech Oy sekä ruotsalainen Höganäs AB, joka on erikoistunut metallien 3D-tulostamiseen. Näistä yrityksistä otin kahteen ensiin mainittuihin yhteyttä mallineen 3D-tulostamista varten. Lisäksi pyysin tarjouksen eestiläiseltä 3D-tulostusyritykseltä Shaperize Oü:lta. Grano 3D Oy:lta en saanut vastausta tarjouspyyntöni, ja päädyin tilaamaan tuotteeni suomalaiselta 3D Formtech Oy:lta.

Tutustuin Nordic 3D Expossa useisiin erilaisiin 3D-tulostusmateriaaleihin sekä tekniikoihin, joista SLS-tekniikka vakuutti minut mallineen käyttötärpeisiin parhaiten. Kiinnitin myös huomiota FDM-tekniikalla 3D-tulostettuihin kappaleisiin, ja kuinka niiden pintaa oli mahdollisesti jälkikäsittely. Kyselin esittelijöiltä erityisesti pinnan jälkikäsittelyn merkitystä heidän pro-

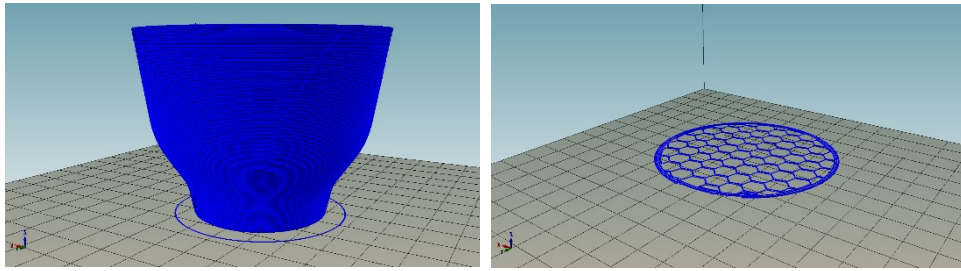
sessissaan. Havaittiin, että asia oli pitkälle tiedostettu, ja tähän ei ollut yksiselitteisiä ratkaisuja. Tämä rajoittaa 3D-tulostettujen kappaleiden sarjatuotantoa, sillä yksittäisiä kappaleita ei ole järkevää alkaa hioa 3D-tulostuksen jälkeen. Esittelijät näkivät tulevaisuuden innovaatiot tässä asiassa käänteen tekijänä, eli he odottivat tarkempia FDM-tekniikkaan perustuvia 3D-tulostimia. SLS-tekniikan 3D-tulostuslaitteet ovat merkittävästi kalliimpia, ja siksi rajautuvat pois pienempien yrittäjien käytöstä.

3.2.1 3D-tulostustekniikoista

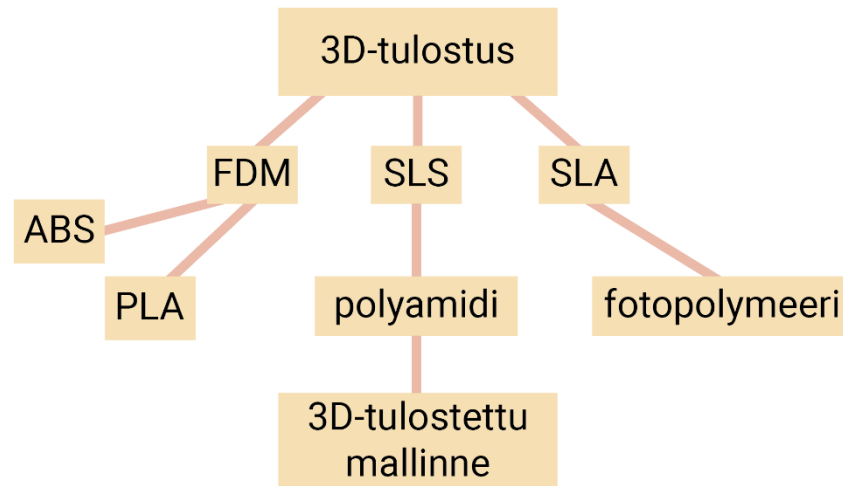
Mallineen vaatimukset vaihtelevat hieman 3D-tulostustekniikasta sekä käytettävästä tulostusmateriaalista riippuen. On hyvä tutustua etukäteen 3D-mallin vaatimuksiin, esimerkiksi kysymällä 3D-tulostusyritykseltä erityistä huomioita vaativia asioita, jotta tulostaminen onnistuisi. Slicing-vaihe on 3D-tulostamisen onnistumisen kannalta tärkein työvaihe 3D-mallintamisen jälkeen. Siinä 3D-malli ladataan 3D-tulostinta ohjaavaan ohjelmistoon, joka yleensä toimii 3D-tulostimeen kytketyllä tietokoneella. Ohjelmista käytetään lyhennettä CAM, eli computer-aided manufacturing, eli tietokoneavusteinen valmistus. CAM, eli slicing-vaihe, kääntää 3D-mallin sarjaksi ohjeita mihin tulostuspäähän kullakin kerroksella kulkee, ja milloin se liikkuu sekä mihin kohtiin tulee pursottaa muovia (kuvat 23 ja 24). Tätä sarjaa ohjeita kutsutaan G-koodiksi (G-code), joka on yleinen ohjelmointikieli. Yleisiä slicer-engineitä ovat Skeinforge sekä Slic3r, joista jälkimmäinen on nykyään suositumpi. Slicer-engine tulee yleensä osana ohjelmaa, joka vastaa tulostimen toiminnasta. Tällaisia ovat esimerkiksi ReplicatorG, Repetier-Host, Printron sekä Cura. Slicing-vaiheessa tehdään myös paljon säätöjä siihen, millainen kappale 3D-tulostuu. Esimerkiksi tulostusnopeus sekä -tarkkuus, maksimi tulostuspään nopeus, kappaleen sisäisen tukimateriaalin tiheys ja ominaisuudet, sekä kappaleen ulkoisen tukimateriaalin tarve määritellään Slicing-vaiheessa. (Make: 3D printing 2014, 20-21.)



Kuva 23. Näkymä Repetier-Host -ohjelmassa, jossa espressokupin STL-tiedosto on ladattuna, ja valmiina Slicing-vaiheeseen.



Kuva 24. Vasemmalla espressokupin 3D-malli Slicing-vaiheen jälkeen. Oikealla näkymä saman kappaleen kerroksesta nro 63, jossa on nähtävillä Honeycomb-tukirakenne.



Kuvio 5. 3D-tulostuksen tekniikoita ja materiaaleja.

Kuvio 5 havainnollistaa seuraavaksi käsiteltäviä 3D-tulostuksen tekniikoita ja materiaaleja. Yleisin 3D-tulostintyyppi on FDM-tulostin, joka pursottaa sulaa muovia, yleensä ABS- tai PLA-muovia, tulostusalustalle joka jäähtyessään kiinnittyy alempaan kerrokseen. FDM tulee sanoista Fused Deposition Modeling. 3D-tulostin tulostaa yhden kerroksen kerrallaan, jonka jälkeen se siirtyy korkeussuunnassa tulostamaan seuraavan kerroksen. Sen etuna on suhteellisen matalat kustannukset, ja ne ovatkin yleistyneet myös kotitalouksien käytössä. Tarjolla on halvimmissa tee-se-itse malleista aina huipputason FDM-tulostimiin. Lisäksi FDM-tulostin pursottaa suhteellisen kestäviä kerroksia, ja 3D-tulostimen pursottama paksuus vaihtelee 75 μ m:stä 300 μ m:iin. 3D-tulostin ei kykene tulostamaan liian suuria päästöjä, eikä osia jotka roikkuvat ilman tukea, jolloin tulostimen slicing-vaiheessa määritellään tarvittavat tukimateriaalit. Tukimateriaalit on mahdollista esimerkiksi liottaa vedellä irti kappaleesta, mikäli se on 3D-tulostettu siihen sopivasta materiaalista, kuten PVA:sta. (Thre3D 2014a.)

FDM-tulostuksen heikkouksia ovat pursotustekniikasta johtuvat kerrokset, joiden siistimiseen kuluu aikaa. ABS-muovista 3D-tulostettua kappaletta on mahdollista silottaa asetonihöyryllä, jolloin on noudatettava erityistä huomiota tehokkaaseen ilmanvaihtoon. Tekniikka ei kuitenkaan sovellu PLA-muoville, jolloin on esimerkiksi käytettävä hiomapaperia pinnan tasoittamiseksi. Erilaisilla suihkutettavilla maaleilla on myös mahdollista siistiä

FDM-tulostetun kappaleen pintaa. Kaikki siistimistekniikat vievät kuitenkin aikaa, ja alkuperäisiä yksityiskohtia mahdollisesti menetetään työn siistimistyön aikana.

PLA-muovi on kotikäytössä yleisempi materiaali, koska se on biohajoavaa, eikä siitä lähde ABS-muovin kaltaisia epämiellyttäviä kemiallisia hajuja. Lisäksi sen käyttö ei välttämättä vaadi kuumennettavaa tulostusalustaa, sillä sen sulatuslämpötila on alhaisempi ja se jäähtyy myös nopeasti. PLA-muovin heikkouksia ovat sen hauraampi rakenne, sekä alhainen lämmönsieto. PLA-muovi alkaa muovaantua jo 60°C:ssa.

ABS-muovin etuja ovat sen lujuus ja kestävyys, korkea sulamispiste ja pitkäikäisyys. Haittoina ovat edellä mainittu kemiallinen haju sulattaessa, sekä sen hankaluus 3D-tulostuksessa, sillä se vaatii korkeamman sulatuslämpötilan sekä lämmitetyn tulostustason tai -kopin. ABS-muovi ei ole kovin ympäristöystävällinen materiaali, sillä sen valmistukseen tarvitaan öljyä. ABS-muovilla 3D-tulostaessa yleisiä ongelmia ovat kappaleen taipuminen tai tulostuskerrosten irtoaminen toisistaan kulmissa. Nämä hankaluudet johtuvat ABS-muovin vaatimasta korkeasta sulatuspisteestä, sekä sen tarvitsemasta hitaasta jäähtymisestä.

SLS-tulostus tulee sanoista Selective Laser Sintering, eli lasersintraus. SLS-tekniikassa 3D-tulostimen säiliössä on pohja, jonne levitetään muovijauhetta kerroksittain. Kerrosten kohdalla laser sulattaa 3D-mallin mukaisen muodon muovijauheeseen, jolloin tulostettava kappale muodostuu muovijauheen sisään. SLS-tekniikalla 3D-tulostettu kappale on täysin lopullisen tuotteen näköisen, jonka lisäksi sen mekaaniset ominaisuudet, tarkkuus sekä pinnanlaatu ovat lähes ruiskuvalettujen kappaleiden veroiset. (3D Formtech n.d.a.)

Lasersintrauksessa käytetään muoveja 3D-tulostaessa polyamidia, joka on vahvaa ja kestää hyvin mekaanista rasitusta sekä kemikaaleja vahvoja alkoholeja lukuun ottamatta. Materiaali mahdollistaa tarkatkin yksityiskohdat tulostettavassa kappaleessa. (3D Formtech n.d.b.) Hyötyjä ovat 3D-tulostetun kappaleen tarkkuus, sillä sitä ei tarvitse jälkikäteen käsitellä kuten FDM-tekniikalla 3D-tulostettua kappaletta. Haittoina ovat kustannukset, sillä SLS-tekniikan 3D-tulostimet ovat huomattavasti kalliimpia.

Stereolitografiassa eli SLA-tekniikassa lasersäde kovettaa kappaleen nestemäisessä epoksipohjaisessa fotopolymeerissä kerros kerrokselta. 3D-tulostin käyttää UV-valoa projisoimaan tulostettavan kerroksen, joka kovettuu reagoidessaan lasersäteeseen. SLA-tekniikan 3D-tulostimia on toimintaperiaatteeltaan käytännössä kahdenlaisia. Osa 3D-tulostimista pitää kappaleen koko tulostuksen ajan nestemäisessä fotopolymeerialtaassa, jonka pohja laskeutuu sitä mukaa kun kappale valmistuu. Toiset 3D-tulostimet pitävät kappaleen ylösalaisin, ja laskevat kappaleen valottamisen ajaksi nestemäiseen fotopolymeerialtaaseen. 3D-tulostin nostaa ja laskee vuorotellen kappaletta altaaseen, kunnes se on valmis irrotettavaksi. 3D-tulostamisen jälkeen kappale täytyy puhdistaa ylimääräisestä fotopolymeerinesteestä, ja antaa kovettua UV-valolle altistettuna. (Thre3D 2014b.)

Etuna SLA-tekniikassa on korkea tarkkuus, veden kestävyys, erilaiset muovien ominaisuudet, kuten joustavuus, kestävyys sekä jämäkkyys. Läpinäkyviä materiaaleja 3D-tulostaessa SLA-tekniikka mahdollistaa hyvän kirkkauden. Pinnan tarkkuus on huomattavasti parempi kuin FDM-tekniikalla tulostettuna, sillä valmiissa kappaleessa on yhtä havaittavia kerroksia. Haittoina on herkkyys UV-valolle, sillä kappale voi alkaa heikkeneään ja halkeilla, mikäli se altistuu pitkällä aikavälillä auringon valolle. Lisäksi tukimateriaali koostuu samasta materiaalista kuin itse kappalekin, sillä SLA-tekniikan 3D-tulostimessa voi käyttää vain yhtä materiaalia kerrallaan. (Thre3D 2014b.) Tämän takia monimutkaisen kappaleen viimeistely tukimateriaalista voi olla työlästä, ja jättää jälkiä kappaleen pintaan. Onttoja kappaleita tulostaessa on hyvä huomioida kappaleen sisälle jäävä nestemäinen fotopolymeeri, jolloin 3D-mallintaessa täytyy lisätä kappaleeseen reiät, joista neste pääsee kappaleesta ulos.

3.2.2 3D-tulostuksen tilaus

Yritykseltä tilaamani malline (kuva 25) oli 3D-tulostettu SLS-tekniikalla polyamidimuovista. Mallineeseen tehtiin 3mm vahvuinen reuna yrityksen omalla ohjelmistolla, sillä onttona lähettämissäni tiedostoissa olivat sisäpinnat kääntyneet väärinpäin eivätkä he voineet käyttää niitä. Olin varalta lähettänyt myös tiedoston, jossa on pelkästään ulkokuori, juuri tämänlaisen tilanteen varalta, jolloin yritys pystyy itse tekemään korjaukset eivätkä joudu odottamaan uuden tiedoston saapumista asiakkaalta. Kaiken kaikkiaan mallineen tulostaminen ulkopuoliselta yritykseltä sujui hyvin, ja mallineen saavuttua postipakettina olin tyytyväinen sen laatuun. 3D-tulostuspalvelun verottomaksi hinnaksi muodostui postitus mukaan lukien 132 euroa, arvonlisäveron ollessa 24 %. Pinta oli hyvin tasainen, ja kelo-tekstuuri toistui mallineessa hyvin, vaikka sen tarkkuus ei täysin vastannut digitaalista 3D-mallia. Ainoana miinuksena havaitsin mallineen pinnassa olevan pieni kuhmu, joka ei onneksi vaikuta kupin lopulliseen ulkomuotoon, sillä se jää kipsisen valumuotin valmistuksessa piiloon. Kuhmu kuitenkin hankaloittaa valumuotin valmistamisessa, sillä kyseisen pinnan tulisi olla mahdollisimman tasaisesti puulevyä vasten.



Kuva 25. 3D-tulostettu malline.

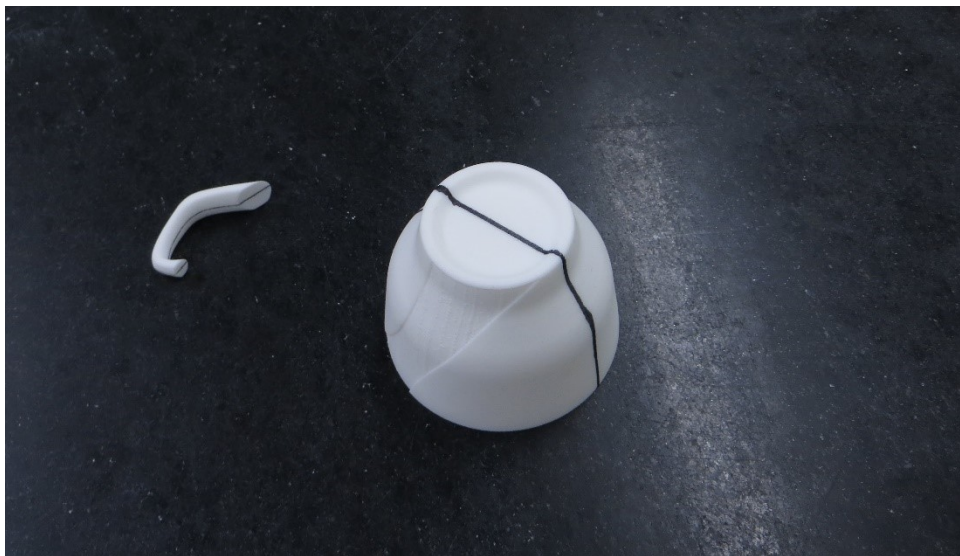
3.3 Prototyypin valmistusprosessi

Seuraavaksi käsitellään keraamisen prototyypin valmistusprosessi, joka alkaa kipsisen valumuotin valmistuksella. Muita valmistusprosessin vaiheita ovat valumassan valmistus, valaminen sekä viimeistely, johon kuuluvat raaka- ja lasituspolto.

3.3.1 Valumuotin valmistus

Valumuottien avulla on mahdollista luoda esineitä, joita ei ole kannattavaa rakentaa käsin tai valmistaa dreijaamalla. Se myös mahdollistaa tiettyjen muotojen toistamisen nopeammin ja tarkemmin. Valumuotit voivat olla yksi- tai moniosaisia, ja osien määrä riippuu mallineen muodosta. Yksiosaisia käytetään silloin, kun malline on muodoltaan päästävä, eli siinä ei saa olla muotin tulevaa suuaukkoa leveämpiä kohtia. Muuten kipsimuottia ei pysty irrottamaan mallineesta. Keskikohdaltaan leveämpiä muotoja on mahdollista valmistaa kaksiosaisella muotilla, jolloin muotti aukeaa kahden eri suuntaan. Kolmiosainen muotti vaaditaan, jos valmistettavaan esineeseen halutaan jalkarengas. Mitä useampi osainen muotti on kyseessä, sitä suurempi vaara muoteille on vahingoittua käytössä, joten muodot kannattaa suunnitella siten, että ne voidaan valmistaa mahdollisimman vähillä osilla. (Mattison 2003, 96, 98, 102, 104.)

Päätin tehdä erillisen muotin espressokupin korvaa varten, joka liitetään kuppiin, kun molemmat kappaleet ovat irronneet muoteistaan. Näin kupin sisäpinta pysyy tasaisena lasituspolton jälkeen. Kipsisen valumuotin valmistaminen moniosaisena alkoi keskilinjan piirtämisellä mallineeseen. Keskilinjan tulee olla juuri mallineen jakopinnan mukainen, jotta se irtoaa muotista. Käytin vedenkestävää permanenttitussia sekä suorakulmaa merkitsemään mallineen keskilinjan (kuva 26).



Kuva 26. Keskilinja piirrettyä mallineeseen.

Ensin malline upotettiin saveen keskilinjaa pitkin. Keskilinjalla on oltava tarkkana, että savi kulkee tasaisesti piirrettyä viivaa pitkin. Myös jalkarenkkaan sisusta oli peitettävä savella, jotta sieltä ei kipsivalun aikana nouse ilmakuplia kipsiin. Kun mallineen alapinta oli tasaisesti peitetty savella, kipsin kanssa kosketuksiin tulevat pinnat käsiteltiin erotusaineella (kuva 27). Myös kipsivalussa käytettävät vesivaneriset levyt käsiteltiin erotusaineella.



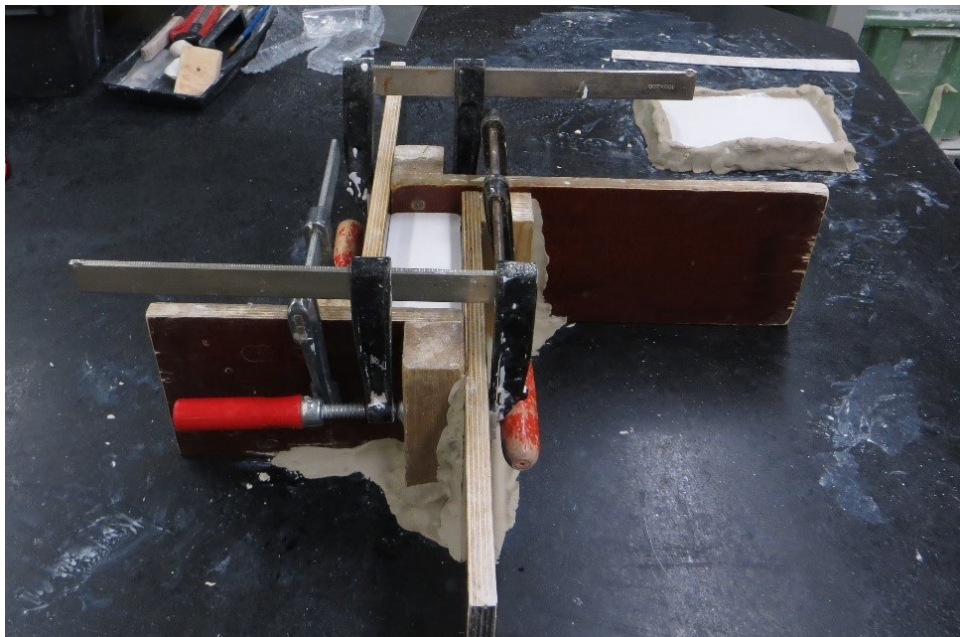
Kuva 27. Saveen peitetty malline.

Malline ympäröitiin vesivanerilevyillä kaikilta puolin, ja levyt kiinnitettiin jämäkästi toisiinsa puristimilla (kuva 28). Levyt muodostivat mallineelle kipsimuotin sivut, jolloin haluttu syvyys kannatti merkitä levyn pintaan. Lisäksi mittasin 30 mm tilaa mallineen molemmille puolille, jotta valumuotti toimii valaessa. Levyjen muodostaman muotin saumat tiivistin savella, jolloin kipsi ei pääse valumaan muotista ulos.



Kuva 28. Muotti savella tiivistämistä vaille valmiina kipsivalua varten.

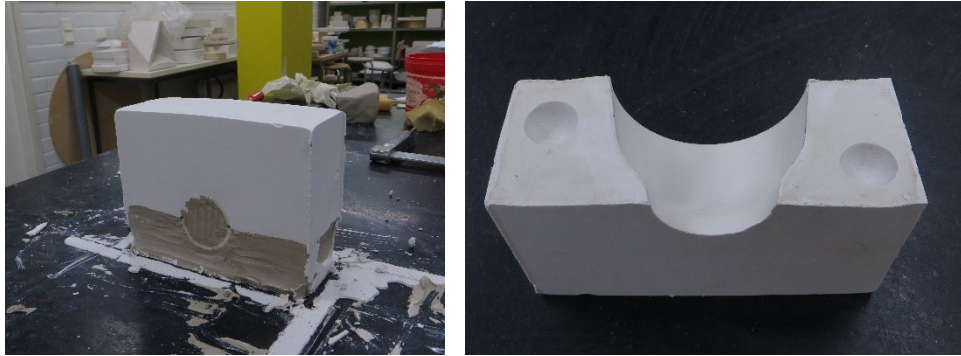
Muotteja varten käytetään yleensä pehmeämpää kipsilaatua. Sekoittamis- ja kaatamisvaiheessa on vältettävä ilmakuplien syntymistä kipsiin, jotka heikentävät muotin kestävyyttä sekä pinnan laatua. Kipsiä on myös valmistettava riittävä määrä, jotta muotti täyttyy yhdellä kaatokerralla. (Mattison 2003, 96 – 97.) Kuvassa 29 näkyy kipsillä täytetty muotin ensimmäinen osa.



Kuva 29. Kipsillä täytetty muotin ensimmäinen osa.

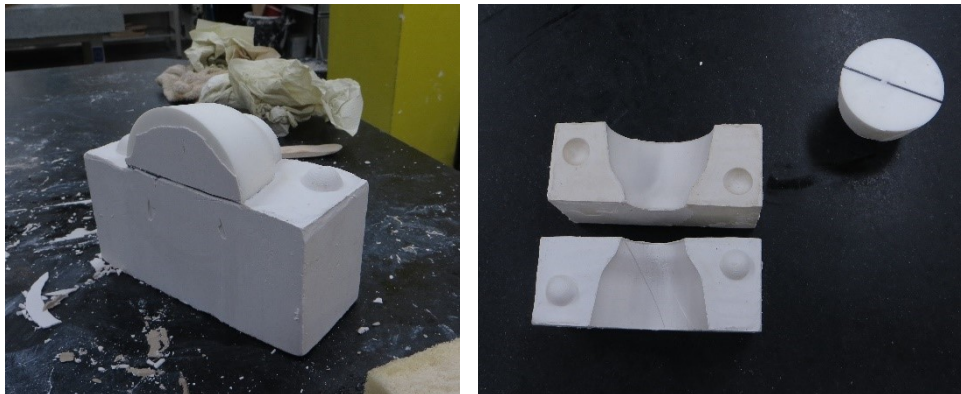
Kun kipsi oli jämähtänyt kiinteäksi, vesivanerilevyt irrotettiin muotin ympäriltä, malline otettiin irti muotista ja valmistuneelle muotin puolikkaalle koverrettiin kolikolla pyöreät kolot jokaiseen kulmaan (kuva 30). Nämä muodostivat lukot, jotta muotin osat asettuvat kohdalleen. Tämän jälkeen asetin mallineen uudestaan kipsimuottiin paikalleen, ja käsittelin tarvittavat

pinnat erotusaineella. Rakensin kipsimuotin ympärille edellä mainitulla tavalla uuden muotin, ja kaadoin sinne vasta valmistetun kipsiseoksen.

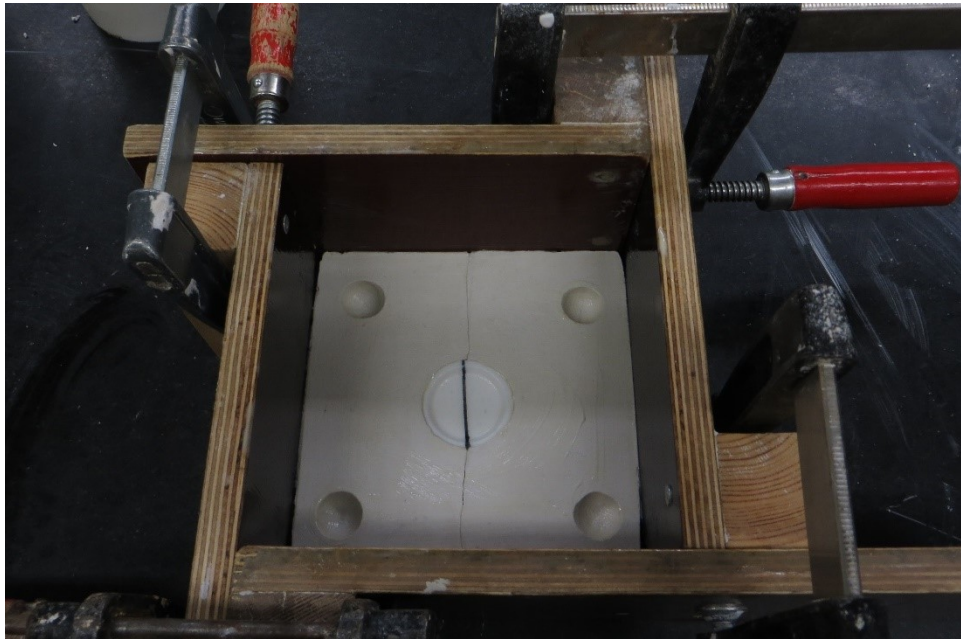


Kuva 30. Vasemmalla ensimmäinen kipsivalu seinämien irrottamisen jälkeen. Oikealla muottiin tehdyt lukot.

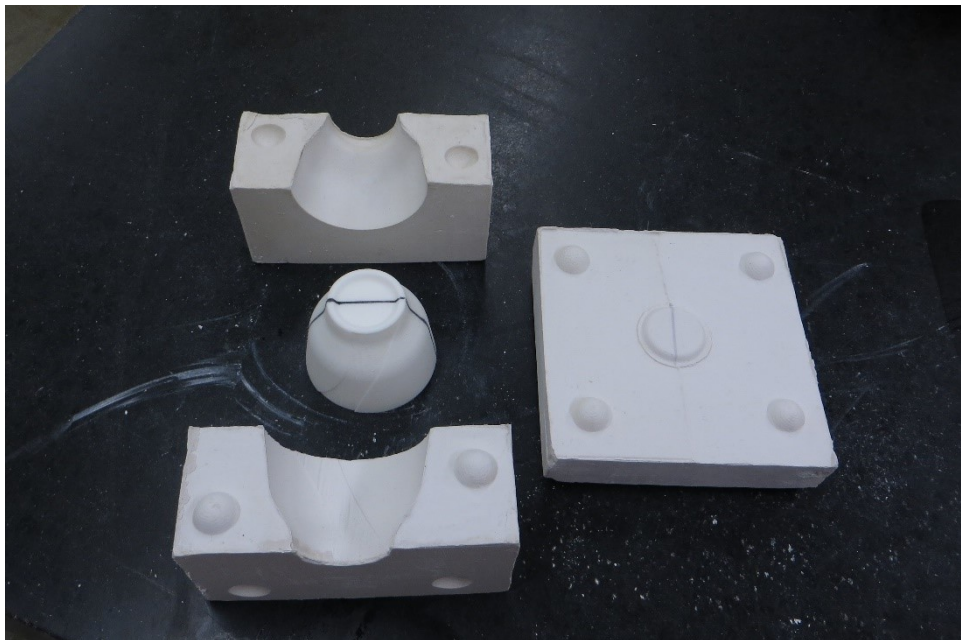
Kun toinenkin kipsimuotin puolisko oli jämähtänyt ja osat olivat irronneet mallineesta (kuva 31), oli vuorossa muotin pohjaosan valmistus. Tässä vaiheessa poistin mallineen pohjassa olleen saven ja käsittelin pohjan erotusaineella. Tein kipsimuottien puoliskojen pohjiin kolikolla kovertaen uudet lukot, jotka auttavat osien asettumisessa kohdilleen. Rakensin jälleen kipsimuottien ympärille vesivanerilevyisen muotin (kuva 32) edellä mainitulla tavalla. Mittasin haluamani 30 mm korkeuden ja merkitsin sen vesivanerilevyyn, ja kaadoin valmistetun kipsiseoksen muottiin. Kipsin jähmetyttyä riittävästi, otin muotin osat erilleen ja mallineen talteen (kuva 33). Lopuksi asetin kipsimuotin osineen kuivauskaappiin kuivumaan.



Kuva 31. Vasemmalla siistimätön kipsimuotin puolikas. Oikealla siistityt muotin osat lukkoineen sekä alkuperäinen malline.



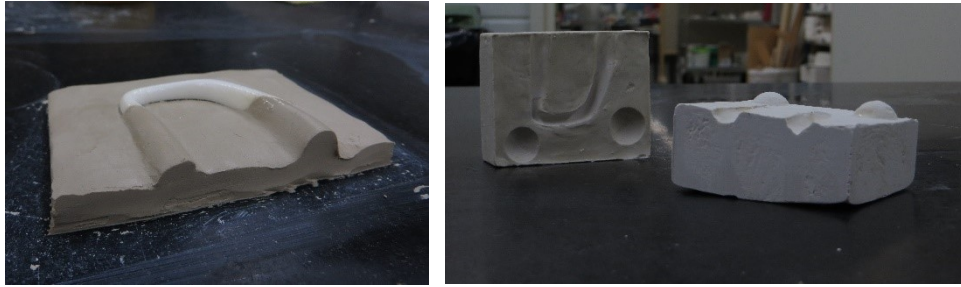
Kuva 32. Muottien puolikkaat sekä malline asetettuna vesivanerilevyjen muodostamaan kipsivalumuottiin. Myös muottien pohjaan on kaiverrettu lukot.



Kuva 33. Valmiit espressokupin valumuotin osat sekä alkuperäinen malline.

Tein espressokupin korvaa varten myös oman kaksiosaisen muotin (kuva 34), jonka valmistus tapahtui lähes samalla kaavalla kuin edellä kuvattu espressokupin muotin valmistus. Poikkeuksena oli korvaa varten savesta käsin muotoillut valukanavat, jotka mahdollistavat muotin käytön. Tämä olisi ollut hyvä huomioida jo 3D-mallinnusvaiheessa, jolloin valukanavat olisivat olleet osa 3D-tulostettua korvan mallinetta. Hankalaksi käsin valukanavien tekemisen teki muotin toisen puoliskon valmistus, jolloin valukanavat täytyi saada sopimaan ensimmäiseen kipsimuottiin ja jatkamaan 3D-tulostetun korvan muotoa. Tässäkin vaiheessa oli huomioitava päästävyys, jotta valukanavat eivät aiheuta ongelmia muottien irrottamiselle. Kun valukanavat olivat valmiit, käsittelin pinnat erotusaineella ja kaadoin kipsin

muottiin. Kipsin jähmetyttyä muottien osat irtosivat toisistaan hyvin, ja sa-
viset valukanavat voitiin heittää pois. Asetin muottien osat myös kuivaus-
kaappiin kuivumaan noin viikoksi, jotta niiden käyttö valumuotteina voitiin
aloittaa.



Kuva 34. Valumuotin valmistus korvalle.

3.3.2 Valumassan valmistus

Muottien kuivumista odotellessa valmistin valumassan valamista varten. Käytin ohjeena valumassa WKTO 8:aa, joka on esitetty ohessa taulukkona 1. Valumassan valmistuksessa käytin koulun tiloissa olevaa massansekoitinta, jonka astiaan mittasin ensin veden. Sen jälkeen mittasin huolellisesti Dispex N40 -elektrolyytin ja sekoitin sen pieneen määrään vettä, jonka jälkeen nämä lisättiin astiaan muun veden joukkoon. Raaka-aineista ensiksi punnitsin ja lisäsin saviraaka-aineet, eli kaoliinin sekä pallosaven. Tämän jälkeen punnitsin ja lisäsin seokseen epäplastiset raaka-aineet, eli maasälvän ja kvartsin.

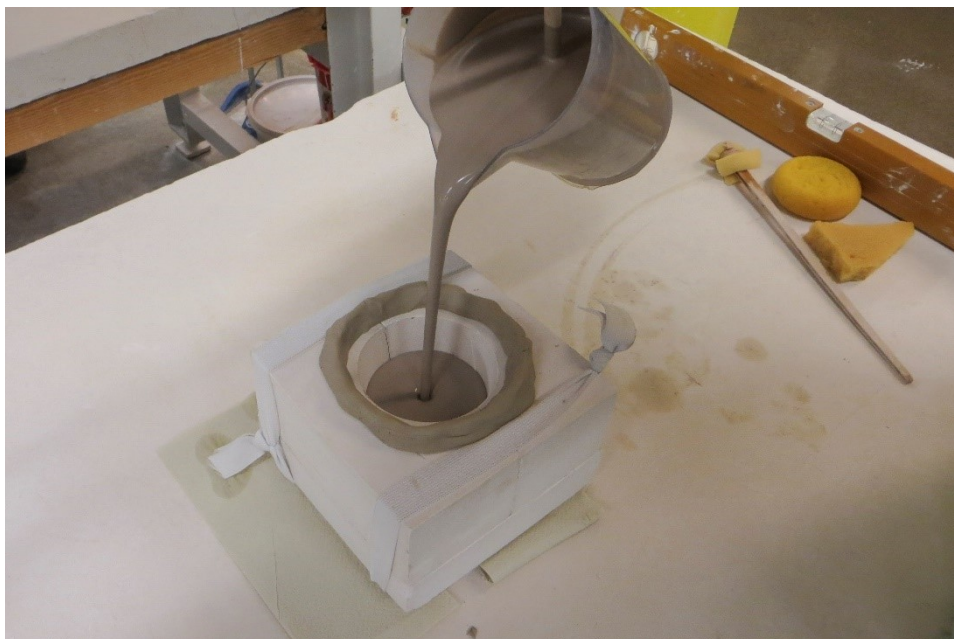
Taulukko 1. Valumassa WKTO 8 (Kaija 2013, 17).

Raaka-aine	%	Määrä	
Kaoliini Grolleg	45	1800	g
Pallosavi Hyplas 64	15	600	g
Maasälpä FFF	20	800	g
Kvartsi FFQ	20	800	g
Yhteensä	100	4000	g
Vesi	38	1520	ml
Dispex N40	0,2	8	g

Valumassa oli sekoittamisen jälkeen liian paksua, jolloin lisäsin siihen desilitra kerrallaan vettä, jotta siitä tulee juoksevampaa. Tämän jälkeen mittasin valumassan tiheyden pyknometrillä, jonka mukaan se oli 180,3 g/dl. Kun valumassa oli valmis, siirsin sen kannelliseen sankoon, jossa annoin sen seisottua vajaan viikon verran. Ennen käyttöä sekoitin valumassan käsikäyttöisellä porakoneella, ja tarkistin massan tiheyden pyknometrillä ennen ensimmäistä valua.

3.3.3 Keraamisen prototyypin valaminen

Keramiikassa valamisessa nestemäinen valumassa kaadetaan kipsimuottiin, jossa siitä imeytyy vesi kipsiin (kuva 35). Valumassan annetaan olla muotissa niin pitkään, että haluttu seinämän paksuus on muodostunut. Tämän jälkeen ylimääräinen valumassa kaadetaan muotista pois, ja jäljelle jäänyt savi annetaan kuivua muotissa riittävän kovaksi. Kuivumisen jälkeen muotti avataan osa kerrallaan, valettu esine siistitään ja siihen tehdään tarpeelliset liitokset, jonka jälkeen esine laitetaan kuivumaan. (Kaija 2013, 16.)

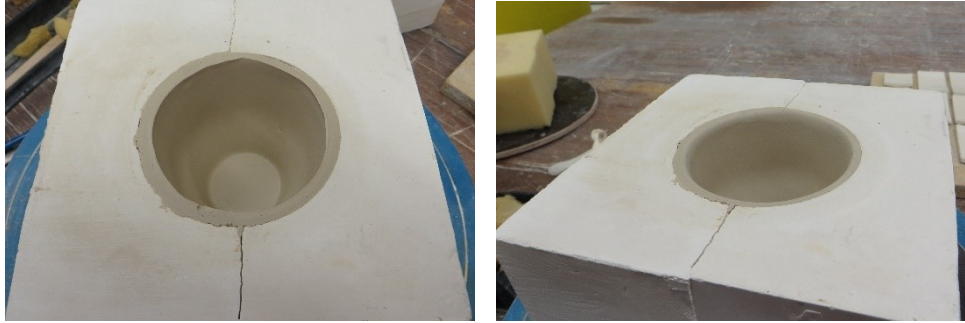


Kuva 35. Valumassan kaato kipsiseen valumuottiin.

Valumuotilla valaminen alkoi muotin puhdistamisella märällä sienellä. Asetin muotin ympärille kiristyssiteet, jotka pitävät muotin osat paikallaan valun ajan. Kiristyssiteeksi käy esimerkiksi polkupyörän sisäkumi tai vastaava venyvä side. Muotin pinta tulee olla vaakatasossa, jotta seinämät muodostuvat tasaisesti, ja tämä tarkistettiin vatupassilla. Kiristyssiteet aiheuttivat muotissa kallistumia, joten tasasin sen laittamalla muovipaloja ja paperia muotin alle. Jotta valettavan esineen reunasta tulisi mahdollisimman siisti, muotoilin savesta muotin yläpintaan valukaulan. Tämä mahdollisti muotin täyttämisen ylitse reunojen, joka helpottaa siistin reunan aikaansaamisessa. Espresso-kupin tarvitsee olla tavallista kuppia hieman paksumpi, joten tarvittavaa valuaikaa tarvitsi hakea useamman valun verran.

Kun valumassa oli ollut muotissa riittävän pitkään, kaadoin ylimääräisen valumassan takaisin sankoon uudelleen käytettäväksi. Asetin muotin aluksi kuivumaan alasuin puista rimaa vasten, jolloin loputkin nestemäisestä valumassasta pääsee valumaan reunaa pitkin ulos. Kupin pinnan kuivuttua riittävästi, eli n. 15–30 minuuttia, käänsin muotin ja leikkasin kupin reunan terävällä veitsellä muotin yläpintaa pitkin. Siistin leikkauspinnan ja kupin sisäreunan kostealla sienellä, jolloin kupin sisäreunaan muodostui sopiva pyöristys (kuva 36). Siistimisen jälkeen asetin muotin kuivumaan suuaukko

ylöspäin. Tein korvan muotille samat toimenpiteet siistimistä lukuun ottamatta, sillä muotin sisällä oleva valukanava leikataan vasta muotista irtoamisen jälkeen.



Kuva 36. Vasemmalla kuivunut valumassa reunan leikkaamisen jälkeen. Oikealla reuna siistittyinä.

Kun sekä kuppi että korva olivat irronneet muoteistaan, oli vuorossa niiden liittäminen yhteen. Leikkasin korvan valukanavat irti ohuella veitsellä, alkuperäisen korvan muotoa mukaillen. Liitin korvan kiinni kuppiin nopeasti upottamalla korvan molemmat päät nestemäiseen valumassaan, jonka jälkeen painoin korvan kupin pintaa vasten. Korva kiinnittyi pintaan muutamassa sekunnissa, jonka jälkeen valumat oli mahdollista siistiä vedellä kostutetulla siveltimellä. Suuremmat viimeistelyt oli mahdollista tehdä vasta kupin kuivuttua huonekuivaksi, sillä muotista ottamisen jälkeen kupin reuna voi herkästi mennä mutkalle.

3.3.4 Viimeistely

Seuraavana päivänä kupit olivat valmiita viimeisteltäviksi raakapolttoa varten. Viimeistelyyn ennen raakapoltoa kuuluu saumojen tasoittaminen, reunojen pyöritykset sekä pintojen pienet korjailut. Leikkasin terävällä leikkauuterällä saumat varovasti kupin pintaa pitkin. Lopullisen sauman viimeistelyn tein kostealla sienellä, jolloin sauma tasoittui muun pinnan tasolle. Jalkarenkään pinnan tasoitin kosteaa liinaa vasten, jolloin pinnasta tuli kauttaaltaan tasainen (kuva 37). Kun kuppi oli viimeistelty (kuva 38), se asetettiin hyllyyn odottamaan raakapoltoa.



Kuva 37. Viimeistellyn kupin pohja.



Kuva 38. Viimeistelyjä kuppeja valmiina raakapolttoon.

Ensimmäistä polttoa kutsutaan raakapoltoksi, jossa savi muuttuu kovaksi ja kestäväksi keramiikaksi, joka on kuitenkin huokoista. Saviesineiden on oltava täysin kuivia ennen polttoa. (Mattison 2003, 194.) Raakapoltto tehtiin koulun päältä täytettävässä sähköuunissa. Sähköuunien polttotulokset ovat yleensä tasalaatuisia, sillä niissä polttoilmasto pysyy koko ajan samanlaisena sekä niiden säätäminen onnistuu kaikkein tarkimmin (Mattison 2003, 190). Raakapoltoissa kupit poltettiin 980°C:seen, ohessa olevan taulukko 2:n mukaisesti.

Taulukko 2. Raakapoltto-ohjelma.

RMP °C/h	TMP °C	DWELL
20	80	2,00
100	600	0,00
150	980	0,00
END		

Raakapoltto tulee aloittaa hitaasti, jotta esineet eivät hajoa uunissa. Asettamani uunin ohjelma nosti lämpötilaa 20°C:ta tunnissa 80°C:seen, jossa uuni hauduttaa kahden tunnin ajan, koska esineet olivat vielä viimeistelystä koskeita. Tuuletusaukot olivat auki koko raakapolton ajan. Lämpötilan kohottua n. 600°C:seen, vesi on yleensä poistunut savesta ja lämpötilaa voidaan nostaa nopeammin (Mattison 2003, 194). Uuniohjelma nosti lämpötilan 980°C:seen 150°C:ta tunnissa. Kun tavoitelämpötila oli saavutettu, ohjelma lopetti uunin lämmittämisen, ja uuni jäähtyi itsestään.

Raakapolton jälkeen tarkistin esineiden kunnan ja pinnan virheiden varalta. Polton jälkeen puhdistin kuppien pinnat kostealla sienellä ja annoin sen jälkeen kuivua lasittamista varten. Tein prototyyppiä varten korkeapolttoisen kirkkaan lasitteen (taulukko 3), jonka jälkeen kupit voitiin polttaa lasitepoltoissa ja saavuttavat siten tavoitemittansa. Lasittaminen tapahtui upottamalla kuppi hetkeksi lasitteeseen, jonka jälkeen ylimääräinen lasite valutettiin kupista pois. Jalkarengaasta poistettiin lasite pyörittämällä sitä kosteaa liinaa vasten, jotta kuppi ei tartu uunilevyyn kiinni.

Taulukko 3. Lasitepohja, 1240°C.

Raaka-aine	%	Määrä	
Maasälpä FFF	38,0	1520	g
Kaoliini Grolleg	11,6	464	g
Dolomiitti	4,2	168	g
Wollastoniitti	23,2	928	g
Sinkkioksidi	2,1	84	g
Kvartsi FFQ	20,9	836	g
Yhteensä	100,0	4000	g
Vesi	100,0	4000	ml

Lasituspoltoissa (taulukko 4) lasite sulaa esineen pinnalle, jolloin tarvitaan raakapolttoja korkeampi lämpötila. Lasituspoltojen lämpötilat jakautuvat kahteen pääluokkaan; savitavarapoltoon sekä kivitavara- ja posliinipoltoon. Näistä ensimmäisen huippulämpötilat ovat noin 1000–1120 °C, sekä jälkimmäisen 1200–1320 °C. Myös lasituspolto tulee aloittaa hitaasti, jotta lasitteista imeytynyt vesi pääsee haihtumaan kunnolla. (Mattison 2003, 194–195.)

Taulukko 4. Lasituspoltto-ohjelma.

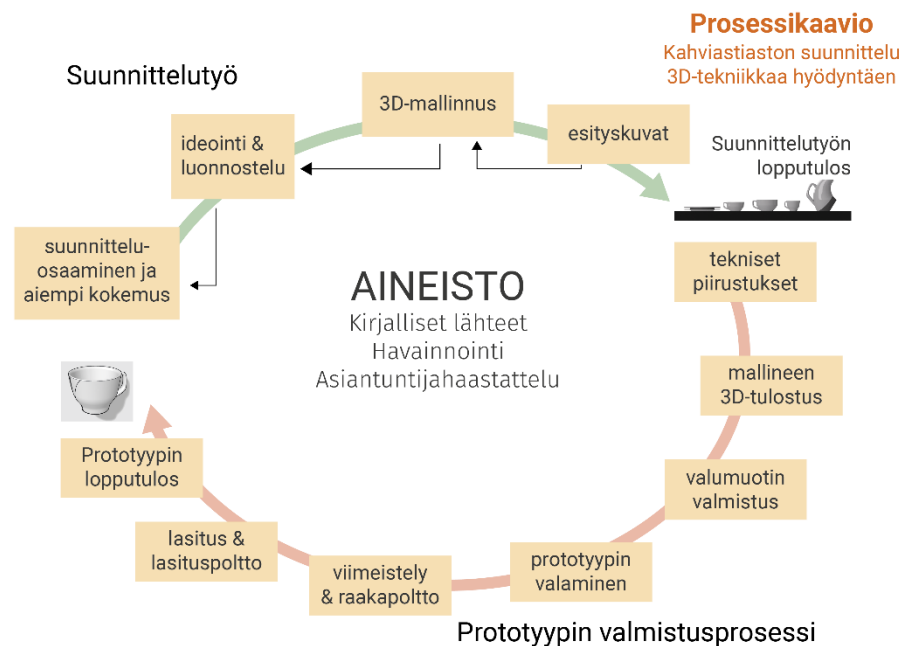
RMP °C/h	TMP °C	DWELL
100	300	0,00
170	1240	0,30
END		

4 TULOKSET JA ARVIOINTI

Tässä luvussa esitellään ensin suunnitteluprosessin tuloksia sekä arvioidaan suunnittelemani kahviastiaston onnistumista, verraten johdannossa esitettyihin tavoitteisiin. Lisäksi prototyypin toimivuutta vertaillaan 3D-malliin, teknisiin piirustuksiin sekä esityskuviin, sekä arvioidaan 3D-tulostuksen soveltuvuutta valumuotin valmistukseen. Lopuksi pohditaan koko suunnitteluprosessia verraten sitä teoriataustaan, sekä reflektoidaan omaa opinnäytetyöprosessia.

4.1 Suunnitteluprosessi

Opinnäytetyön päävaiheet voidaan jakaa kahteen osaan: kahviastiaston suunnittelutyöhön sekä prototyypin valmistusprosessiin. Käsite suunnitteluprosessi kattaa nämä molemmat päävaiheet. Suunnittelutyön lopputuloksena syntyy kokonaisuus kahviastiastosta, johon kuuluu kolme eri kokoista kuppia: espressokuppi, cappuccinokuppi sekä iso tee- tai kahvikuppi. Kuppien lisäksi astiastoon kuuluu lautanen esimerkiksi kahvilleivälle tai aamupalaa varten, sekä monikäyttöinen kannu. Kannun päärooli kahviastiastossa on kuitenkin maidon tarjoilua varten. Prototyypin valmistusprosessi keskittyy hyödyntämään 3D-tekniikkaa kipsisen valumuotin valmistuksessa, jonka lopputuloksena syntyy espressokupin prototyyppi. Valmistusprosessiin kuului teknisten piirustusten tekeminen espressokupista, 3D-tulostetun muovisen mallineen tilaus 3D Formtech Oy:ltä, sekä valumuottien valmistus keraamisen prototyypin valamista varten. Prototyypin valmistusprosessiin kuului myös valumassan ja lasitteen valmistus, sekä raaka- ja lasituspoltot.



Kuvio 6. Johdannossa esitetty prosessikaavio opinnäytetyön suunnitteluprosessista.

Suunnittelutyön tuloksia ovat sen aikana syntyneet ideat ja moodboard, luonnokset, 3D-mallit sekä esityskuvat. Niiden pohjalta oli mahdollista jatkaa suunnitteluprosessia prototyypin valmistukseen. Suunnittelutyön tavoitteena oli saada aikaan hyvin suunniteltu astiakokonaisuus. Myös kahviastiaston esineiden ergonomisuus, käytännön toimivuus sekä esimerkiksi lautasten pinoutuvuus olivat tavoitteina suunnittelulle. Runsas ideointi ja luonnostelu olivat päämetodeina näiden tavoitteiden saavuttamisessa, joiden lisäksi 3D-mallinnusta hyödynnettiin suunnittelutyön esittelemisessä esityskuvien avulla. Konkreettisenä lopputuloksena suunnittelutyöstä ovat 3D-mallit sekä niistä tehdyt esityskuvat, joiden onnistumista arvioidaan seuraavassa luvussa.

4.1.1 Kahviastiaston arviointi

Kahviastiaston suunnittelutyö noudatti prosessikaavion (kuvio 6) mukaista kaavaa, joka alkaa suunniteltavan kohteen ideoinnilla erilaisia menetelmiä hyödyntäen. Ideointi rakentuu osin aiemman kokemuksen ja suunnitteluosaamisen varaan, jolloin suunnittelijalla voi olla esimerkiksi mieltymys tietynlaiseen muotokieleen. Oma ideointini rakentui pääosin moodboardin pohjalta, joka ohjasi luonnostelua haluttuun suuntaan. Huomattavimpana asiana moodboardin vaikutuksesta on kelopuun tekstuurin näkyminen aina lopullisessa tuotteessa asti. Luonnosteluvaihe keskittyi moodboardin tuoman tunteen toistamiseen rauhallisena muotokielenä sekä sujuvina linjoina. Kahviastiaston suunnittelussa päästiin tavoitteiden mukaiseen runsaaseen ideointiin ja luonnosteluun, sillä hyvin paljon erilaisia muotoja kahviastiaston esineille tuli hahmotelluksi. Muotokielen hahmottamisen jälkeen jatkokehityttyt luonnokset toivat lopulta esiin kahviastiaston yhtenevän linjan, sen ”hengen”. Lisäksi jatkokehityttyistä luonnoksista oli hyvä siirtyä 3D-mallintamisen vaiheeseen, sillä piirrosten linjat olivat helposti toistettavissa 3D-mallinnusohjelmassa. Näin luonnosten ja 3D-mallien välillä ei tapahtunut suuria muutoksia ja niiden omaperäisyys säilyi.

Kuten prosessikaaviossa (kuvio 6) on kuvattu, ideointi- ja luonnosteluvaihetta seuraa 3D-mallintaminen. 3D-mallinnuksen alle kuuluu myös esityskuvien tekeminen. Lisäksi prototyyppiä varten tuli viedä yksi kahviastiaston esine 3D-tulostamista varten oikeaan tiedostomuotoon. Toisin kuin luonnosteluvaiheessa, 3D-mallintaminen ei jättänyt paljon varaa virheille, sillä 3D-mallinnettujen kappaleiden tuli toimia myös konkreettisesti. Tästä hyvä esimerkki on prototyyppiä valittu espressokuppi, jonka perusmuodon symmetrisyyteen sekä päästöön oli kiinnitettävä huomiota, jotta kipsisen valumuotin valmistus onnistuisi.

Piri (haastattelu 20.9.2016) toteaa, että kuluttajat odottavat astiastolta jonkinlaista yhteneväisyyttä ja yhdenmukaisuutta. Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että astioita käytettäessä yhdessä tai peräkkäin yhdistelminä, astiaston osat näyttävät kuuluvan yhteen. Opinnäytetyön aikana valmistuneita esityskuvia havainnoidessa olen mielestäni onnistunut luomaan Pirin mainitsemien yhteneväisyyden kahviastiastooni. Kriittisesti arvioituna, kahviastiasto saattaa myös näyttää liian yhdenmukaiselta, jolloin astioiden välillä ei ole riittävästi poikkeavuutta. Lisäksi kahviastiasto ei välttämättä vastaa perinteisiä odotuksia kahviastiastolle, johon kuuluvaksi Piri (haastattelu

20.9.2016) listaa seuraavat esineet: kuppi, lautanen, asetti, kermakko ja so-kerikko sekä mahdollisesti kahvi- tai teekannu. Piri myös toteaa, että nykyisessä nopeassa pikaruokailukulttuurissa on vähennetty lautasten määrää, siten että kahvi tarjoillaan usein mukeista, jolloin mukin alle ei tule lautasta. Hän myös lisää asiantuntijahaastattelussaan, että kaupallisia tekijöitä sekä käytön helppoutta ajatellen, on hyödyllisempää tuottaa sellainen astiakokonaisuu-
suus, jossa samalla esineellä voi olla useampia eri käyttötarkoituksia (Piri, haastattelu 20.9.2016.) Näihin arvoihin verraten, arvioin astiastokokonaisuuteni täyttäneen sen modernimmat odotukset, jolloin lautasten määrä on käytön helppouden vuoksi vähentynyt.

Suunnittelemani kahviastiatossa lautasia on vain yhdenlaisia, joita voi käyttää joko kahvileivän, aamupalan, tai isomman kahvikupin alustana. 3D-mallinnusvaiheessa varmistettiin, että lautasen muoto täyttää sen pinoutuvuudelle asetetut kriteerit. Kahviastiaton kannun pääasiallinen tarkoitus on kahvimaitoa varten, mutta se soveltuu myös arkikäytössä pienemmäksi vesikannuksi. Sen suunniteltu tilavuus on 7 dl, jolloin siihen mahtuu puolen litran maitopurkki, ilman että kannu tulisi piripintaan. Seuraavissa 3D-mallinnetuissa esityskuvissa (kuvat 39–42) on esitelty kahviastiaton kokonaisuutena sekä kannu ja lautanen.



Kuva 39. Esityskuva kahviastiaton kokoelmasta.



Kuva 40. Toinen esityskuva kahviastiaston kokoelmasta.

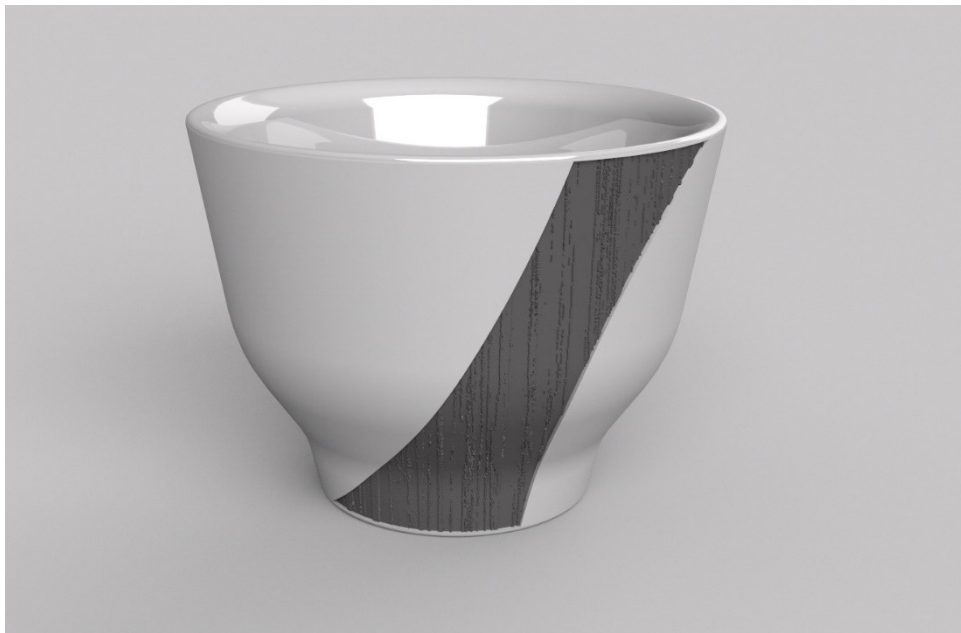


Kuva 41. Kannun esityskuva



Kuva 42. Lautasen esityskuva, halkaisija 186 mm.

Kahvikuppeja on suunniteltu kolmea kokoa, joista kahden suurimman erona on vain mittasuhteet. Ensimmäinen kuppi on espressokahville (kuva 43), jonka vetoisuus on 86 ml Rhinolla mitattuna, jolloin siihen mahtuu tupla-annos espressokahvia. Esimerkiksi kahviloissa espressokahvi tarjoillaan yleensä tupla-annoksena, sillä se on niille nopeampi ja tehokkaampi tapa tarjoilla useampaa asiakasta. Tämä tuplaespresso tapa on myös siirtynyt kotitalouksien espressokeittämiin, jolloin tietämättäänkin ihmiset yleensä keittävät espressoannoksensa tuplana (Gryphon Coffee 2016). Yhden espressoannoksen koko on n. 30 ml, jolloin tuplaespresso on n. 60 ml tilavuudeltaan (The Coffee Brewers n.d.). Yleisiin espressojuomiin kuuluu myös ns. lungo, eli pitkään valutettu espresso, jonka tilavuus on n. 60 ml. Näitä yleisiä espressokahvin mitoituksia ajatellen, yhdestä espressokupista on mahdollista juoda useampaa eri tyyppiä ilman että joutuu vaihtamaan eri kokoiseen kuppiin.



Kuva 43. Espressokupin esityskuva.

Espressokupista seuraava kahvikupin koko on ajateltu sekä cappuccinon, caffè latten, että perinteisen suodatinkahvin juomiseen (kuva 44). Kahvikupin tilavuus on 173 ml, Rhinon tilavuuden analysointi komennolla mitattuna. Suositeltu kahvikupin tilavuus cappuccinoa varten on n. 163 ml (Coffee info n.d.)



Kuva 44. Cappuccinokupin esityskuva.

Suurimman kupin (kuva 45) käyttötarkoitus on sekä teen että kahvin juontia varten. Tämän vetoisuus on Rhinolla mitattuna 324 ml. Osa kahvinjuojista, tekijä mukaan lukien, juovat suodatinkahvinsa hieman suuremmasta kupista. Lisäksi suurempi koko laajentaa käyttömahdollisuuksia myös teen juomiseen, sillä yleensä teekupeissa suositaan hieman suurempaa vetoisuutta sekä laakeaa suuaukkoa.



Kuva 45. Isompi kuppi, tilavuus 324 ml. Esimerkiksi teen tai suurempien kahviannosten juomiseen.

Kaiken kaikkiaan, kahviastiaston suunnittelu noudatti hyvin johdannossa kuvattua prosessikaaviota (kuvio 6), ja siten tulokset olivat myös tavoitteiden mukaiset. Käytetty metodi onnistui viemään suunnittelutyön sen alkuvaiheista aina valmiiseen kahviastiaston kokonaisuuteen asti. Yhteenvetona kahviastiaston suunnittelutyöstä voin todeta, että se kuvastaa tekijäänsä suunnittelijana hyvin, jonka lisäksi se on kokonaisuutena harmoninen. Runsa ideointi ja luonnostelu tuottivat 3D-mallinnuksen kautta hyvin suunnitellun kokonaisuuden, jossa on otettu huomioon astioiden ergonomisuus, käytännön toimivuus sekä lautasten pinoutuvuus.

4.1.2 Kahviastiaston prototyyppi

Prototyypin valmistus eteni prosessikaaviossa (kuvio 6) mukaisesti, jossa työskentely alkoi teknisten piirustusten valmistuksella suunnittelutyön jälkeen. Espresso-kupin teknisten piirustusten ohella tehtiin myös valumuotin valmistusta varten muottipiirustukset, jotka auttoivat valmistusprosessissa. Muottipiirustukset tehtiin lähinnä vain tekijää varten, kun espresso-kupin varsinaiset tekniset piirustukset on valmistettu yleistajuisiksi. Viitekehäksen (kuvio 2) mukaisesti, prototyyppi toimii sekä 3D-tekniikan hyötyjen havainnollistamiseen, että kahviastiaston edustamiseen. Erityisesti 3D-tulostetun mallineen soveltuvuutta valumuotin valmistuksessa voidaan tarkastella keraamisen prototyypin avulla.

Kahviastiastoa varten valmistui 5 kappaletta valmiita prototyyppejä (kuvat 46–48). Niiden valmistus noudatti keramiikan perinteisiä valumuottivalmistustekniikoita. Lasitepolton jälkeen lopputulos osoittautui hyvin samankäoisiksi kuin 3D-mallinnusvaiheen esityskuvissa, joskin mattamusta lasite puuttuukin tekstuurikohdasta. 3D-tulostetun mallineen pinnan tarkkuus SLS-tekniikalla onnistui ylittämään odotukseni. Tämä oli ratkaisevaa, sillä FDM-tekniikalla tulostettuna työvaiheeseen olisi tarvinnut lisätä mallineen pinnan tasoittaminen. SLS-tekniikalla tähän ei ollut tarvetta, vaan malline oli heti käyttövalmis valumuotin valmistukseen. Valmiin prototyypin pintaa tarkastellessa ei ole havaittavissa merkkejä 3D-tulostetun mallineen käytöstä.

Kritiikkinä prototyypin laadusta voidaan mainita, että sen reunan paksuus ei täysin vastaa odotuksiani. Tämä johtui valumassan hitaasta kuivumisnopeudesta valumuotissa, eikä niinkään 3D-tulostetusta mallineesta. Myöskin reunan tasaisuuteen olisi voinut kiinnittää tarkemmin huomioita, erityisesti tekstuuriosuuden reunoilla. Myös kelotekstuuri jäi lopulta hienovaraisemmaksi mitä olin 3D-mallinnusvaiheessa arvioinut. On mahdollista, että 3D-tulostusvaiheessa 3D-malliin olisi tehty muutoksia, jotka ovat karsineet pinnan tarkkuutta. Olen kuitenkin tyytyväinen prototyypin laatuun ja toimivuuteen, sillä se todistaa 3D-tulostetun kappaleen toimivuuden valumuotin mallineena. Lisäksi espressokupista tehdyt tekniset piirustukset vastaavat prototyyppiä suhteellisen tarkasti, vaikka kupin sisäpinnan halkaisija onkin riippuvainen valamisajasta valumuotissa. Muottipiirustuksista oli paljon hyötyä valumuotin valmistusprosessissa, jolloin esimerkiksi tarvittavat lasikutoimenpiteet oli hoidettu jo etukäteen sekä valumuotin mittasuhteet vastasivat suunniteltuja mittoja. Prototyypin todelliseksi vetoisuudeksi tuli 75 ml, jolloin se täyttää sille asetetut vaatimukset.



Kuva 46. Valmis espressokupin prototyyppi lasituspolton jälkeen.



Kuva 47. Espressokupin prototyypin pohja.



Kuva 48. Vasemmalla lähikuva prototyypin tekstuuriosasta. Oikealla prototyyppi sivusuunnasta.

4.2 Pohdinta

Opinnäytetyön aiheena oli suunnitella viisiosainen keraaminen kahviastiasto, jonka eri vaiheissa on hyödynnetty 3D-tekniikkaa. Suunnittelun lisäksi opinnäytetyössä kokeiltiin 3D-tulostetun muovisen mallineen sopivuutta kipsisen valumuotin valmistuksessa. Kipsisen valumuotin toimivuutta kokeiltiin käytännössä keraamisen prototyypin valmistuksessa, jonka kautta on mahdollista arvioida 3D-tulostetun mallineen sopivuutta valmistusprosessissa.

Kahviastiaston suunnittelun tavoitteina olivat runsas ideointi ja luonnostelu, jotka ilmentävät hyvin suunniteltua kokonaisuutta. Lisäksi tavoitteina olivat astioiden ergonomisuus, käytännön toimivuus sekä lautasten pinoutuvuus. Opinnäytetyöprosessin tavoitteina olivat 3D-tekniikan hallitseminen sekä sen hyötyjen tutkiminen prototyypin valmistusprosessissa. Aihealueesta olivat rajattuna pois sekä kahvin että kahvilakulttuurin tutkiminen sekä laitteiden tutkiminen ja testaus.

Onnistuin suunnittelutyössäni luomaan ideoinnin ja luonnostelun kautta 3D-mallinnettavan kahviastiaston, josta oli mahdollista toteuttaa 3D-tulostettava malline. 3D-mallinnusohjelmalla renderöidyt esityskuvat onnistuivat tuomaan kahviastiaston kokonaisuuden hyvin esille. Esityskuvien kautta on mahdollista vertailla sille asetettuja tavoitteita, sekä se vastaa moodboardin luomaa tunnelmaa.

Suunnittelutyötä rajoitti hieman aihealueen laajuus, sillä ilman prototyypin valmistusprosessia olisi ollut mahdollista suunnitella kahviastiasto käyttäjälähtöisemmästä näkökulmasta, sekä tutkia kahvilakulttuurin taustoja. 3D-tekniikan hyödyntäminen suunnitteluprosessissa toi kuitenkin lisää tutkittavaa aihealueeseen, jolloin edellä mainitut aihealueet rajautuivat pois. Lisäksi prototyypin valmistusprosessi toi 3D-tekniikan hyötyjä ja kehityskohteita paremmin esille, mitä pelkästään perinteinen esityskuvien käyttö olisi tuonut. 3D-tulostettu muovinen malline toimi hienosti kipsisen valumuotin valmistuksessa. Valitettavasti en itse päässyt kokeilemaan oman mallineen 3D-tulostamista, vaan jouduin tilaamaan 3D-tulostuksen ulkopuoliselta yritykseltä, 3D Formtech Oy:ltä. Alkuperäisenä tavoitteena oli myös mallineen jälkikäsitteilyn kokeilu, joka ei ollut SLS-tekniikalla 3D-tulostetulle mallineelle tarpeellista.

Opinnäytetyön tulokset ovat hyvin toistettavissa, sillä suunnitteluprosessini on tähdännyt raportoinnin läpinäkyvyyteen. Tämä ilmenee esimerkiksi työvaiheiden tarkalla selostuksella sekä eri reseptien ja uuniohjelmien esittelemisellä. Prosessin aikana otin myös paljon selvää 3D-tekniikasta, erityisesti 3D-tulostuksesta joka oli minulle aihealueena melko uusi. Alan messujen, Nordic 3D Expon, kautta minulle selvisi paljon selvitettäviä yksityiskohtia 3D-tulostuksesta. Näistä havaittavin seikka on SLS-tekniikan hyödyntäminen mallineen 3D-tulostuksessa.

Esitystekniikassa 3D-mallinnuksen edut ovat ennestään muotoilun alalla tuttuja. Sen sijaan 3D-tulostuksen hyödyntäminen on tämän opinnäytetyön merkittävin etu. Suosittelen sen mahdollisuuksiin tutustumista sekä alaa opiskeleville, että sillä työskenteleville. 3D-tulostetun muovisen mallineen

käyttö osana kipsisen valumuotin valmistusprosessia ylitti odotukseni. Olin ennalta varautunut muovisen mallineen tuomiin riskeihin, mutta käytännössä malline toimi moitteettomasti. Erityisesti SLS-tekniikalla 3D-tulostetun mallineen pinnan laatu helpotti valumuotin valmistusprosessia.

Opinnäytetyön viitekehys (kuviot 1 ja 2) kattaa suunnitteluprosessini laajat asiakokonaisuudet, eli 3D-tekniikan sekä kahviastiaston. Näiden pääkohtien alle muodostui prosessille olennaisia alakohtia sekä tekijöitä. Viitekehysessä kahden asiakokonaisuuden väliin jäi prototyyppi, joka kuvastaa sekä kahviastiaston suunnittelua että 3D-tekniikan hyödyntämistä. Prosessikaavio (kuviot 1 ja 6) tarkentavat koko opinnäytetyössä käytyä suunnitteluprosessia. Suunnitteluprosessin lopussa on kuvattu lopuksi nuoli, joka vie kehän alkuun eli tekijän aiempaan kokemukseen ja suunnitteluosaamiseen. Tämä kuvastaa opinnäytetyöprosessin tuomaa oppimista, joka toimii seuraavien suunnitteluprosessien materiaalina. Tekemisen kautta tullut oppiminen on tuottanut tekijälle syvempää suunnitteluosaamista, 3D-tekniikan hallintaa sekä kokemusta suunnitteluprosessin dokumentoinnista, havainnollistamisesta sekä analysoimisesta.

Opinnäytetyön kysymykset kohdistuivat keraamisen kahviastiaston suunnitteluprosessiin. Pääkysymykseni jakaantui kahdeksi erilliseksi kysymykseksi:

- Millainen on 3D-tekniikalla suunnittelemani keraaminen kahviastiasto?
- Millainen on kahviastiaston prototyypin valmistusprosessi?

Kysymykset toimivat hyvin ohjaamaan tiedonhankintaani etsimään tietoa kahviastiastosta sekä sen toimivuuteen vaativista seikoista. Alan messuilla, Nordic 3D Expossa Vantaalla, havainnointi auttoi hahmottamaan 3D-tulostuksen monipuolista kenttää. Prototyypin valmistusprosessissa onnistuin kuvailemaan, sitä millainen se on. Yhteenvedona voin todeta, että hankkimani aineisto auttoi vastaamaan johdannossa esitettyihin kysymyksiin.

Kaiken kaikkiaan opinnäytetyöprosessi oli ennalta odotettua laajempi kokonaisuus, jonka aikana opin paljon uutta erityisesti 3D-tulostuksesta. Havaittiin, että 3D-tekniikasta on suuri hyöty suunnitteluprosessin eri vaiheissa. Onnistuin saavuttamaan suunnittelutyölleni asettamat tavoitteet, sekä saamaan 3D-tulostetulla mallineella aikaan keraamisen prototyypin, joten koen opinnäytetyöni onnistuneen hyvin. Työskentely oli vaihtelevaa, sillä 3D-mallinnus vie paljon aikaa tietokoneen äärellä, kun taas prototyypin valmistusprosessi oli pääosin fyysistä työskentelyä. Kuten edellä mainitsin, SLS-tekniikalla 3D-tulostetun mallineen laatu ylitti odotukseni ja tulen käyttämään sitä mahdollisuuksien mukaan jatkossakin. Opinnäytetyöni havaintoja ja tuloksia 3D-tekniikasta on mahdollista muidenkin hyödyntää.

LÄHTEET

3D Formtech n.d.a Mitä 3D-tulostus on? Viitattu 14.11.2016.
<http://www.3dformtech.fi/3d-tulostus/mita-3d-tulostus-on/>

3D Formtech n.d.b Materiaalit. Viitattu 14.11.2016. <http://www.3dformtech.fi/3d-tulostus/materiaalit/>

Andersson, T. & Tuomi, J. 2016. Messuesite Nordic 3D Expo. Energia Areena. Vantaa. 16.4.2016.

Coffee Info. The important of cup sizes for coffee. n.d. Viitattu 6.11.2016.
<https://coffeeinfo.wordpress.com/the-important-of-cup-sizes-for-coffee/>

Espresso Cups Guide. Discover the Best Espresso Cups: Top Demitasse Comparison Guide. n.d. Viitattu 14.11.2016. <https://espresso-cupsguide.com/>

Gryphon Coffee. Shot size. 2016. Viitattu 6.11.2016. <http://www.gryphon-coffee.com/blog/2016/3/8/shotsize>

Heikkilä, M. 1997. Tekniset piirustukset. Porvoo: WSOY.

Kaija, E. 2013. Keramiikan perusteita. Hämeen ammattikorkeakoulu. Viitattu 14.11.2016.

Kettunen, I. 2001. Muodon palapeli. Porvoo: WSOY.

Maker Media, Make: 3D Printing: Compiled by Anna Kaziunas France. 2014. Sebastopol: Maker Media, Inc.

Mattison, S. 2003. Keramiikka: materiaalit, tekniikat, työvälineet. Suom. Riikka Stewen. Jyväskylä: Atena Kustannus

The Coffee Brewers. Calibrating Your Shot Sizes Correctly, and Setting Up Your Machine to Reproduce Them. n.d. Viitattu 7.11.2016.
<http://www.thecoffeebrewers.com/howtocayoshs.html>

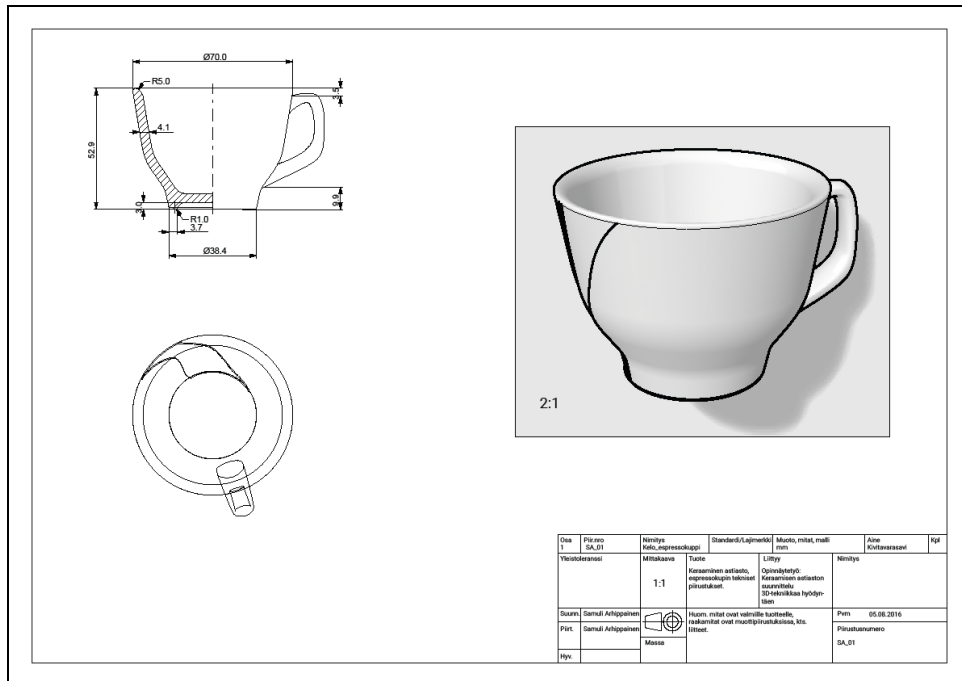
Thre3D. How Fused Deposition Modeling (FDM) Works. 2014a. Viitattu 14.11.2016. <https://web.archive.org/web/20140221012818/https://thre3d.com/how-it-works/material-extrusion/fused-deposition-modeling-fdm>

Thre3D. How Stereolithography (SLA) Works. 2014b. Viitattu 14.11.2016.
<https://web.archive.org/web/20140221010104/https://thre3d.com/how-it-works/light-photopolymerization/stereolithography-sla>

HAASTATTELUT:

Piri, M. 2016. Suunnittelija. Haastattelu 20.9.2016.

ESPRESSOKUPIN TEKNISET PIIRUSTUKSET



VALUMUOTIN TYÖPIIRUSTUKSET



