

3D-tulostamisen hyödyntäminen tuotekehityksessä

Monidrop infuusiomonitori

Pro gradu tutkielma
Mari Pohjanvesi
0278049
Taiteiden tiedekunta,
teollinen muotoilu
Lapin yliopisto
Kevät 2021

Lapin yliopisto, taiteiden tiedekunta

Työn nimi: 3D-tulostamisen hyödyntäminen tuotekehityksessä

Tekijä: Mari Pohjanvesi

Koulutusohjelma/maisteriohjelma: Teollinen muotoilu

Työn laji: Pro gradu -tutkielma

Sivumäärä: 63

Vuosi: 2021

Tiivistelmä:

Tutkimuksen tarkoitus on tutkia 3D-tulostamisen hyödyntämistä osana tuotekehitysprosessia. Tutkimuksessa tarkastellaan 3D-tulosteita tuotekehitysprosessin eri vaiheissa, sekä tutkitaan sitä, mihin tarkoituksiin ja minkä tyyppisiä 3D-tulosteita käytettiin.

Tutkielman aineistona käytettiin Monidor Oy:n infuusiomonitorin tuotekehitysprosessin aikana tehtyjä havaintoja, sekä aiheeseen liittyvää kirjallisuutta. Tutkimusmenetelmänä käytetään laadullista sisällön analyysia, jonka avulla aineistosta tehtyjä havaintoja ja löydöksiä verrataan teoriaan.

Tutkimustulosten perusteella 3D-tulosteiden avulla voidaan laadukkaasti arvioida tuotteen toimivuutta, sekä rakennetta. Tuotteen rakennetta pystyi 3D-tulosteiden avulla arvioimaan erityisesti käytettävyyden ja estetiikan näkökulmasta. Tuotteesta voitiin myös saada parempi käsitys 3D-tulosteiden avulla esimerkiksi suunnittelutiimin kesken tai loppukäyttäjien kanssa kommunikoidessa.

Infuusiomonitorin tuotekehitysprosessin avulla luotiin 3D-tulosteita hyödyntävä tuotekehitysprosessi, jossa 3D-tulosteiden avulla tuotetta ja sen ominaisuuksia voidaan tarpeen mukaan arvioida eri vaiheissa tuotekehitysprosessia. Tuotekehitysprosessin vaiheet, joissa 3D-tulosteita tulisi hyödyntää ovat konseptointi, systeemitason suunnittelu, yksityiskohtainen suunnittelu, sekä testaus ja viimeistely. Päätelmänä 3D-tulosteita voidaan siis hyödyntää tuotekehitysprosessin aikana menestyksekkäästi useisiin eri tarkoituksiin.

Avainsanat: 3D-tulostaminen, tuotekehitysprosessi, teollinen muotoilu, tuotesuunnittelu, suunnittelutiede, lääkinällinen laite

x Tutkielma ei sisällä muita kuin tekijän/tekijöiden omia henkilötietoja.

University of Lapland, Faculty of Art and Design

Title: Utilization of 3D printing in product development

Author: Mari Pohjanvesi

Degree Program / Master's Program: Industrial Design

Type of work: Master's thesis

Number of pages: 63

Year: 2021

Summary:

The purpose of the study is to investigate the utilization of 3D printing as part of the product development process. The study reviews 3D prints at different stages of the product development process and examines for what purposes and what types of 3D prints were used.

The material used in the thesis was the observations made during the product development process of Monidor Oy's infusion monitor, as well as the related literature. The research method uses qualitative content analysis, which compares the observations and findings made with the material to theory.

Based on the research results, 3D prints can be used to assess the product's functionality and structure. The structure of the product could be evaluated especially from the point of view of usability and aesthetics. The product could also be better understood with the help of 3D prints, for example among the design team or when communicating with end users.

The product development process of the infusion monitor created a product development process utilizing 3D prints, where 3D prints can be used to evaluate the product and its properties at different stages of the product development process. The steps in the product development process where 3D prints should be utilized are concept development, system-level design, detail design, and testing and refinement. In conclusion, 3D prints can be successfully utilized during the product development process for several different purposes.

Keywords: 3D printing, product development process, industrial design, product design, design science, medical device

x The study does not contain any personal information other than the author.

Sisällys

Sisällys	3
1. Johdanto,	5
1.1 Tutkimuksen taustaa ja motivaatio.....	5
1.2 Tutkimuksen rakenne	6
1.3 Tutkimuskysymykset.....	7
1.4 Teoriatausta ja viitekehys.....	8
2 Tutkimusaineistot ja -menetelmät	10
2.1 Tutkimusaineisto ja sen hankinta	10
2.2 Infuusiomonitorin tuotekehitysprojekti.....	11
2.3 Tutkimusmenetelmät	17
2.4 Keskeiset käsitteet	18
3 Käytetyt tulostetyypit ja teknologiat	24
3.1 3D-tulostuksessa käytössä olevat teknologiat	24
3.2 3D-tulostuksessa käytettävissä olevat materiaalit	26
3.3 Infuusiomonitorin tuotekehityksessä käytetyt tulostusteknologiat ja - materiaalit	29
4 3D-tulosteiden käyttötarkoitukset	32
4.1 3D-tulosteiden käyttötarkoitukset yleisesti	32
4.2 3D-tulosteiden avulla kommunikoiminen sisäisesti suunnittelutiimin kesken 34	
4.3 3D-tulosteet yrityksen ulkoisessa kommunikoinnissa.....	35
4.4 3D-tulosteet tuotteiden käytettävyyden arvioinnissa.....	36
4.5 Yhteenveto.....	40
5 3D-tulosteet tuotekehitysprosessin eri vaiheissa.....	42
5.1 Geneerinen tuotekehitysprosessi	42
5.2 Konseptointi	44
5.3 Systemitason suunnittelu	49
5.4 Yksityiskohtainen suunnittelu	52
5.5 Testaus ja viimeistely	53
5.6 Infuusiomonitorin 3D-tulosteita hyödyntävä tuotekehitysprosessi.....	55
6 Tutkimustulokset/päätelmät	56
6.1 Tuotteen toimivuus.....	56
6.2 Parempi käsitys tuotteesta	56
6.3 Tuotteen rakenne	57

6.4	3D-tulosteita hyödyntävä tuotekehitysprosessi.....	57
6.5	Yhteenveto.....	58
7	Pohdinta	59
	Lähteet.....	63

1. Johdanto,

1.1 Tutkimuksen taustaa ja motivaatio

Kiinnostuin tästä tutkimusaiheesta tehdessäni syventävää muotoiluprojektia Monidor Oy:lle lääkinällisen laitteen, eli langattoman infuusiomonitorin konseptimuotoilusta. Monidor Oy on oululainen terveysteknologian startup-yritys, joka on perustettu vuonna 2015. Yritys perustettiin lääkärin aiemmin tekemän keksinnön pohjalta. Yrityksen perustajien aiempi työtausta on Nokialta ja Broadcomilta, joten osaaminen langattoman teknologian osa-alueelta on vahvaa. Olen itse ollut mukana yrityksen toiminnassa sen alkuajoista lähtien, ensin opintojen kautta alkuvuodesta 2015, ja sen jälkeen työsuhteessa alkuvuodesta 2016 alkaen.

Yrityksen toimitusjohtaja, ja esimieheni kannusti 3D-tulosteiden käyttöön suunnittelun apuna heti projektin alusta lähtien. Tätä myöten suunnitteluprojektin aikana jo varhaisesta vaiheesta lähtien konsepteista tilattiin 3D-malleja Shapeways nimiseltä yritykseltä. 3D-malleja tilattiin aina kun halusimme testata uutta toiminnallista tai ulkonäöllistä aspektia. Tätä työtä tehdessä kiinnostukseni 3D-tulosteiden hyödyntämisessä osana mahdollisimman järkevää ja nopeaa tuotekehitystä heräsi. Pienellä aloittavalla yrityksellä ei ole varaa investoida suuresti, mutta toisaalta esimerkiksi toimiva prototyyppi tuli saatava valmiiksi mahdollisimman nopeasti.

Syventävän muotoiluprojektin jatkuessa konseptivaiheen opinnoista myöhemmin työsuhteeseen, tuotekehitystä jatkettiin ja laitteen muotoja viilattiin edelleen 3D-tulosteita hyödyntäen. Uuden teknologian käyttö, ja sen merkitykset osana ketterää tuotekehitysprojektia sai minut ja yrityksen toimitusjohtajan kiinnostumaan aiheesta, ja näin tutkielman aihealue syntyi.

3D-tulostaminen on ollut viimeisten vuosien aikana suuressa murroksessa ja kehittyi kovaa vauhtia. Tulostimien hinta on laskenut sille tasolle, että pienemmilläkin yrityksillä on mahdollisuus investoida oma tulostin. Erityyppisten tulostimien ja tulosteiden laatuakin tuli suunnitteluprojektin aikana seurattua, testatessamme eri toimijoiden palveluita tuotekehitysprosessin eri vaiheissa.

Kun aloin hyödyntämään 3D-tulosteita konseptointivaiheen prototypoinnissa, heräsi esiin mielenkiintoisia näkökulmia myös siitä, mihin kaikkeen erityisesti alkuvaiheen

y yrityksissä voidaan hyödyntää 3D-tulosteita prototypoinnin lisäksi. Prototypoinnin lisäksi Monidorilla 3D-malleja käytettiin useaan tarkoitukseen, ja ne toimivat merkittävässä roolissa jo varhaisessa vaiheessa. Myös näitä merkityksiä tutkin työssäni. 3D-tulostamisen tulevaisuus yleensäkin on hyvin mielenkiintoinen, koska teknologia etenee nykypäivänä todella nopeasti. Aihe tuntui mielenkiintoiselta myös siksi, koska se on melko tuore itselleni ja yritykselle, jolle työskentelen. Kokemukseni mukaan 3D-tulosteiden hyödyntämisellä voi olla monenlaisia hyötyjä yritykselle, ja tässä tutkimuksessa tutkin näitä hyötyjä ja merkityksiä tarkemmin.

1.2 Tutkimuksen rakenne

Tutkimus alkaa johdannosta (luku 1), jossa kerrotaan tutkimuksen taustaa, esitellään tutkimuskysymykset ja teoriataustaa. Lisäksi johdannossa avataan tutkimukseen liittyviä keskeisiä käsitteitä.

Seuraavaksi alkaa varsinainen tutkimusosio, jossa esittelen tutkimusaineiston (luku 3). Tämän jälkeen, luvuissa 3-5 ja analysoin aineiston tutkimuskysymysten, ja aiheeseen liittyvän kirjallisuuden avulla. Luvussa 6 käsitellään tutkimustulokset ja päätelmät. Viimeisessä luvussa 7, on yleistä pohdintaa 3D-tulosteiden mahdollisuuksista ja tulevaisuudesta.



1.3 Tutkimuskysymykset

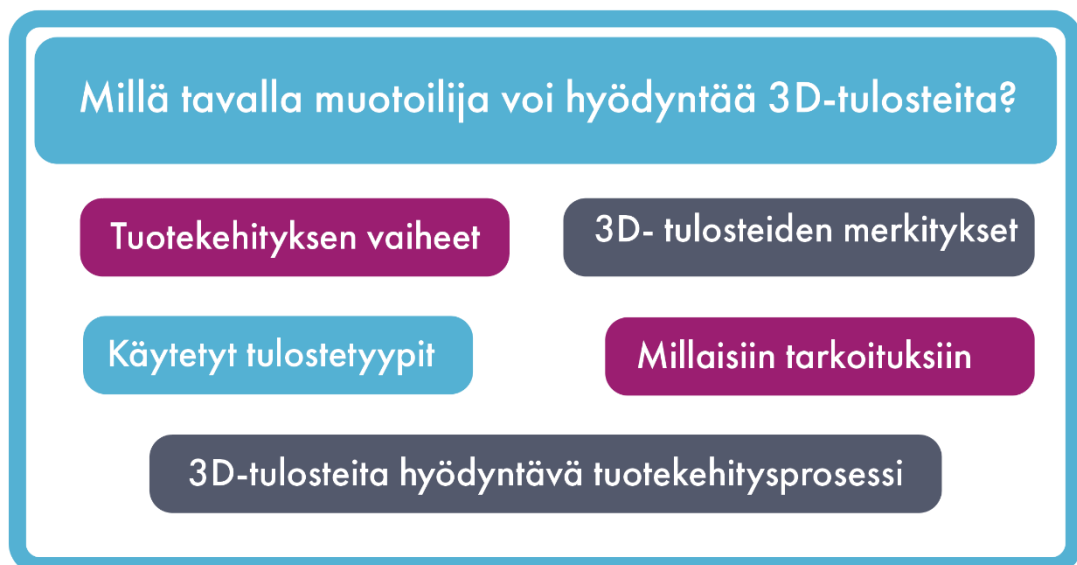
Pääkysymys: Millä tavalla muotoilija voi hyödyntää 3D-tulosteita?

Tutkimukseni pääkysymys on; ”Millä tavalla muotoilija voi hyödyntää 3D-tulostusta tuotekehitysprosessin aikana?” Selvitän tutkimuksessa, miten Monidor Oy:n infuusiomonitorin tuotekehityksessä hyödynnettiin 3D-suunnittelua ja -tulostamista. Vertaan infuusiomonitorin 3D-tulosteita hyödyntävää tuotekehitysprosessia Ulrich ja Eppingerin generiseen tuotekehitysprosessiin, jonka jälkeen luon mallin 3D-tulosta hyödyntävästä tuotekehitysprosessista.

Tarkentavat lisäkysymykset

Tarkentavina kysymyksinä käytän seuraavia kysymyksiä:

- Missä tuotekehityksen vaiheissa tulosteita hyödynnettiin?
- Millaisia merkityksiä tulosteilla oli tuotekehitysprosessin eri vaiheissa?
- Minkä tyyppisiä tulosteita käytettiin, ja millaisia tulosteita tarvitaan, ja miksi?
- Millaisiin tarkoituksiin 3D-tulosteita käytettiin ja millainen merkitys niillä on ollut Monidor Oy:ssa.



1.4 Teoriatausta ja viitekehys

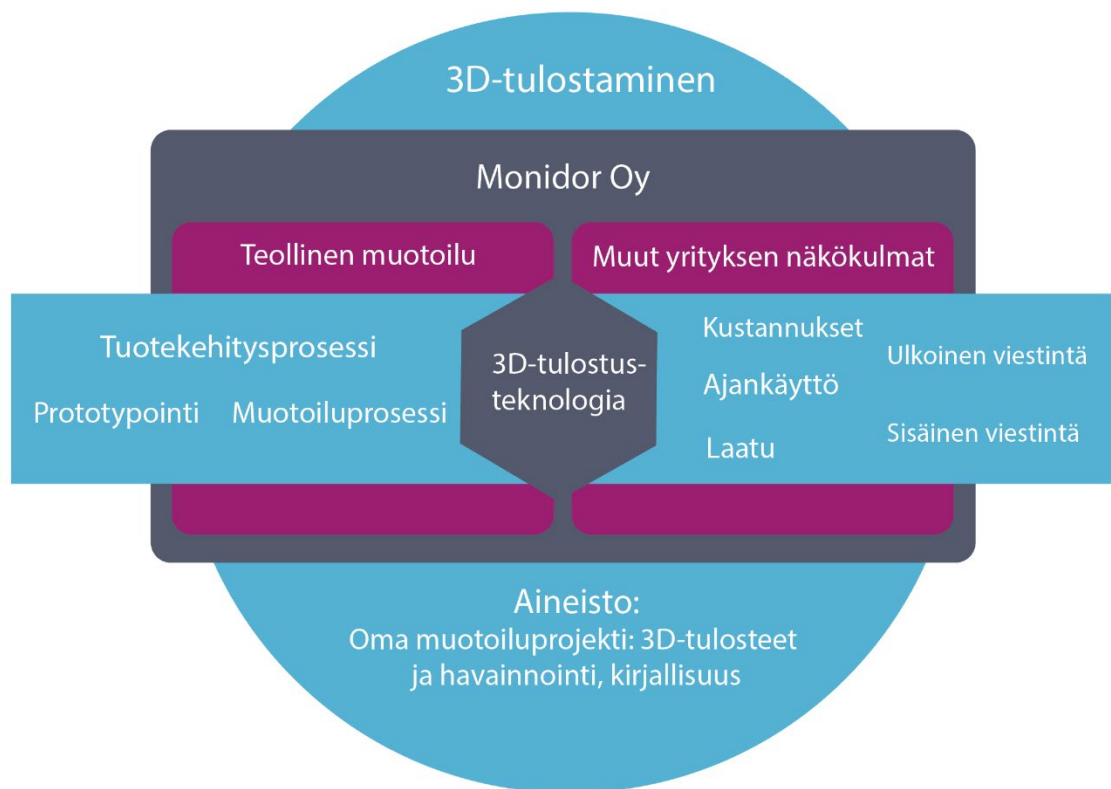
Tutkimukseni teoreettisena viitekehystenä toimii 3D-tulostaminen ja tuotekehitysprosessi. Tutkimus on aineistolähtöinen, eli aineisto on ollut osittain olemassa jo ennen tutkimusaiheen määrittelyä. Jatkoisin kuitenkin tutkimusaineiston keräämistä vielä tutkimusaiheen määrittelyn jälkeenkin, koska tutkimusta koskeva tuotekehitysprojekti oli vielä käynnissä.

3D-tulostamisesta löytyy joitakin tutkimuksia prototypoinnin osalta. Suurin osa tutkimuksesta tuntuu olevan jo todella vanhaakin ja käsittelee asiaa RP-menetelmä – käsitteen kautta.

Ensimmäinen lukemani 3D-tulostamista tuotekehityksessä tutkiva tutkimus oli Lapin yliopiston entisen opiskelijan Jyri Junntilan Pro gradu-tutkielma ”3D-suunnittelun hyödyntäminen PK-yrityksen tuotekehityksessä -case tutkimus Kuusamon Uistin Oy”. Hänen tutkimuksessaan käsiteltiin 3D-tulostamisen lisäksi myös 3D-suunnittelua, joka ei kuulu tutkimukseni aihealueeseen. Tutkimus oli toteutettu myös case-tutkimuksena ja siinä tutkittiin uistimien tuotekehitystä 3D-tulosteiden ja mallinnuksien avulla.

Toinen 3D-tulostamisesta tehty tutkimus, johon olen tutustunut, on Jarkko Lohilahden Oulun seudun ammattikorkeakoulussa toteutettu lopputyö ”Selvitys 3D-tulostamisen tilanteesta Suomessa”. Siinä tarkasteltiin ja vertailtiin Oulun alueen 3D-tulostuspalveluja tarjoavia yrityksiä, sekä käsiteltiin yleisesti 3D-tulostusteknologiaa.

Muissa lukemissani artikkeleissa on pohdittu paljon 3D-tulostamisen tulevaisuutta lopputuotteiden valmistamisessa ja massatuotannossa. Aiemmin tulosteita käytettiin vain prototypoinnissa, mutta paljon löytyy tutkimusartikkeleita siitä, miten tuotteita tulevaisuudessa voidaan jopa kokonaan valmistaa 3D-tulostamalla. 3D-tulostusteknologian kehittyessä tulevaisuudessa, lähes rajattomat mahdollisuudet kiehtovat, näin muotoilijan näkökulmasta, jos massatuotannosta on mahdollista siirtyä enemmän yksilöityihin tuotteisiin.



2 Tutkimusaineistot ja -menetelmät

Tässä luvussa kerrotaan miten ja mistä tutkimuksessa käytettävä aineisto on hankittu, sekä esitellään aineisto pääpiirteittäin. Lisäksi kappaleessa esitellään tutkimuksessa käytettävät tutkimusmenetelmät. Aineisto koostuu muotoilutyössäni tehdystä tuotekehitysprojektista, ja sitä peilataan aiheeseen liittyvään kirjallisuuteen. Aineisto esitellään tarkemmin seuraavassa luvussa. Tutkimukseni tutkimusote on konstruktiiivinen tapaustutkimus, joka analysoidaan laadullisen sisällönanalyysin menetelmin. Konstruktiiivinen tapaustutkimus voidaan luokitella kuuluvaksi suunnittelutieteiden alaan.

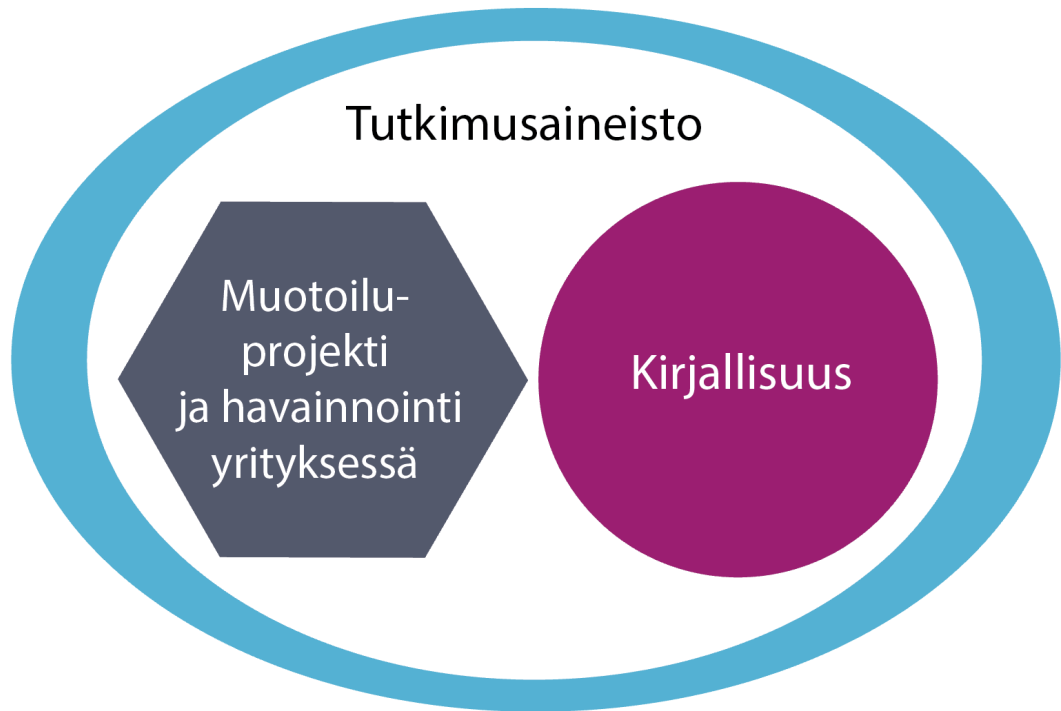
Konstruktiiivinen tutkimusote on metodi, joka tuottaa innovatiivisia konstruktioita, ja jolla pyritään ratkaisemaan todellisuuden ongelmia, ja tällä tavoin sen avulla pyritään tuottamaan kontribuutioita tieteenalalle, jossa sitä sovelletaan. Konstruktio käsitteenä on laaja, koska kaikki ihmisen luomat artefaktit – kuten esimerkiksi mallit, kaaviot, suunnitelmat, organisaatorakenteet, toimintastrategiat, kaupalliset tuotteet ja tietojärjestelmämallit ovat konstruktioita. Tunnusomaista konstruktioille on se, että ne keksitään ja kehitetään. Luomalla uusi konstruktio, luodaan jotain aivan uutta, ja uudenlaiset konstruktioit kehittäväit itsessään uutta todellisuutta. (Rolin et. al. 2006).

Tässä tutkimuksessa luodaan tuotekehityksen aikana uusi lääkinällinen laite, ja tutkitaan ilmiötä tuotekehitysprosessin ja käytettyjen materiaalien ja teknologian kautta.

2.1 Tutkimusaineisto ja sen hankinta

Aineiston ensimmäinen osa koostuu tekemästäni infuusiomonitorin tuotekehityksen aikaisesta muotoilutyöstä, tuotetuista 3D-malleista ja suunnitteluprojektin aikana tekemistäni havainnoista. Olen tallentanut työtäni kuvin ja muistiinpanoin suunnitteluprojektin aikana.

Toinen aineiston osa koostuu aiheeseen liittyvästä kirjallisuudesta ja tutkimusteoriasta, jota vertailen ja peilaan tekemiini havaintoihin. Tämä aineisto sisältää 3D-tulostamisessa käytettäviä teknologioita, materiaaleja, sekä tuotekehitysprosessiin liittyvää kirjallisuutta. Kirjallisuus on apuna tukemassa ja haastamassa omia suunnittelutyön aikana tehtyjä havaintoja.



2.2 Infuusiomonitorin tuotekehitysprojekti

Tutkimuksessa käytettävä aineisto on hankittu osallistamalla lääkinällisen laitteen tuotekehitysprojektiin Monidor Oy:ssa vuosien 2015-2017 aikana. Suunniteltava tuote on lääkinällinen laite, infuusionopeutta, nestemäärää ja hoidon kestoa mittaava infuusiomonitori sairaaloihin ja kotisairaalaan hoitajien apuvälineeksi tarkemman suonensisäisen nesteytyksen toteutukseen. Tuote oli uudennlainen toimintatavaltaan lääkinällisten laitteiden markkinoilla, joten vertailukohtia ei juuri ollut. Kuitenkin samaan aikaan, kun tuotetta kehitettiin, löytyi Yhdysvalloista yritys, joka kehitti vastaavaa infuusiota mittaavaa tuotetta. Myöhemmin vuosien varrella myös muita vastaavia laitteita on kehitetty markkinoille.

Tuotekehityksen aikana käytettiin 3D-tulostettuja malleja erilaisiin tarkoituksiin. Tein muotoiluprojektin aikana havaintoja, josta tutkimuksessa käytettävä aineisto koostuu. Lisäksi tutkimuksessa käytetään aiheeseen liittyvää kirjallisuutta, jota peilataan omiin havaintoihin, etsittäessä vastauksia asettamiini tutkimuskysymyksiin.

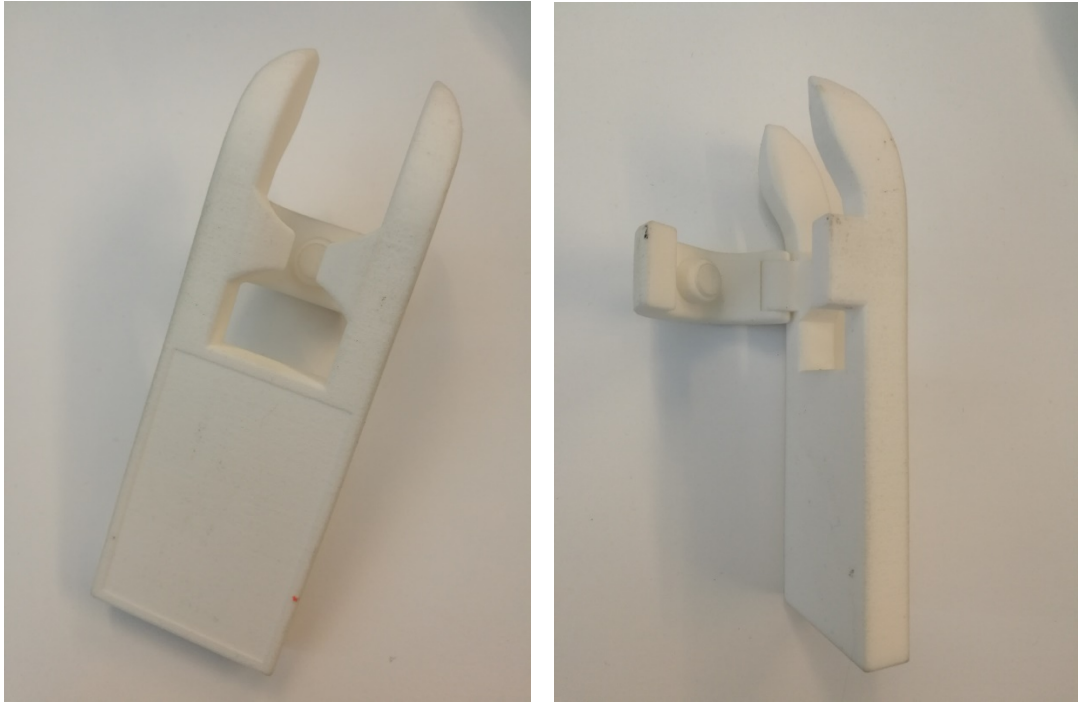
Aineisto koostuu tekemästani muotoilutyöstä tippalaskurin tuotekehityksessä ja tuotekehityksen aikana tuotetuista 3D-tulosteista, joita tuotettiin ja hyödynnettiin konseptointivaiheesta lähtien viimeiseen prototyypimalliin asti ennen

ruiskuvalumuottitilausta. Infuusiomonitorin tuotekehityksen aikana 3D-tulosteita tilattiin yhteensä 20 kertaa 3D-tuleita tarjoavalta yritykseltä, nimeltä Shapeways. Ensimmäiset mallit tilattiin helmikuussa 2015 ja viimeiset infuusiomonitorin oheistuotteen, eli pöytätelineen mallit tilattiin helmikuussa 2017. Kahden vuoden aikana 3D-tulosteita tilattiin ideointivaiheesta lähtien aivan viimeiseen designiin asti ennen ruiskuvalumuottien tilaamista, joten aineisto kattaa oikeastaan kaikki tuotekehitysprosessin vaiheet.

Ennen 3D-tulosteiden tilaamista, mallit täytyi luonnollisesti piirtää kolmiulotteisiksi CAD-ohjelmistolla. Ennen CAD piirtämistä, piirsin mallit ensin karkeina mittapiirroksina käsin. Kiinnitysmekanismien mittapiirrokset tehtiin käsin piirtämällä. Ne tehtiin yhteistyössä mekaniikkasuunnittelijana työskentelevä kollegani kanssa, ja näiden piirustusten avulla tein 3D-mallinnukset pikamalleja varten.

Käyttämäni 3D-suunnitteluohjelmisto oli alkuvaiheessa CREO (entinen Pro Engineer), sekä myöhemmässä vaiheessa vaihdoimme suunnitteluohjelmiston SolidWorksiin. Mielestäni nämä kaksi ohjelmistoa ovat hyvin samankaltaisia käyttöliittymältään ja toimintaperiaatteeltaan, ja pystyinkin opettelemaan SolidWorksin käytön itsenäisesti noin viikossa, kun vaihdoimme suunnittelulisenssin toiseen. Suunnitteluohjelmisto vaihdettiin SolidWorksiin, koska yhteistyökumppanimme yleisesti käyttivät tätä ohjelmistoa enemmän, ja malleja ei tarvinnut erikseen muuttaa tiedostomuotoon, joka tukee molempia ohjelmistoja. Näin mallit pysyivät muokattavina molempiin suuntiin., ja helpotti suunnitteluyhteistyötä.

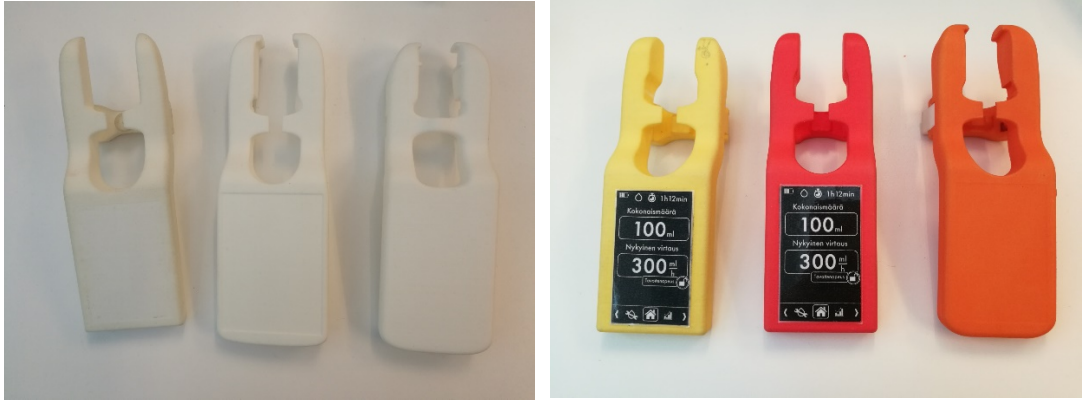
Ensimmäiset tilatut mallit (27.3.2015) olivat vielä melko suurpiirteisiä, ja niiden tarkoitus oli olla apuna määrittäessä infuusiomonitorin ulkonäköä koskevia päätöksiä. Nämä mallit olivat umpinaisia, eivätkä siis toiminnallisia. Laitteen päälle liimattiin laminoitu näyttö, jos prototyyppiä esiteltiin asiakkaille tai muille yhteistyökumppaneille.



Ensimmäisiä 3D-tulosteita infuusiomonitorista

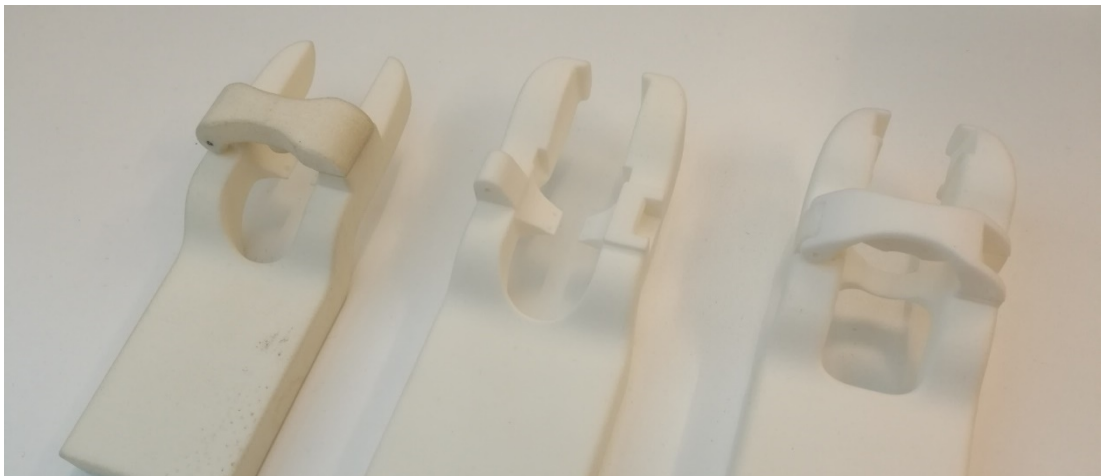
Muotovaihtoehtoja oli mukana tässä vaiheessa kahta eri versiota, ja yllä olevassa kuvassa oleva malli oli aluksi suunnittelutiimin suosikki. Kuitenkin kysyttäessä käyttäjien mielipidettä tuotteen ulkonäöstä muun muassa web-kyselyn avulla, toinen muoto osoittautui ylivoimaisesti suosituimmaksi.

Seuraavassa vaiheessa, kesän 2015 aikana versioita tilattiin eri väreissä, ja niitä käytettiin apuvälineenä käyttäjätiedon keruussa. Menetelmäksi valittiin ryhmäteemahaastattelu, joka järjestettiin Oulun Yliopistollisessa sairaalassa 1.9.2015. Tuolloin noin kahden tunnin mittaiseen tilaisuuteen osallistui 20 sairaanhoitajaa, jotka työskentelivät sairaalan eri osastoilla.



3D-tulosteita syksyllä 2015

Kun yksi konsepti oli valittu jatkokehitykseen käyttäjäpalautteen perusteella ja suunnittelutiimin kesken, keskityttiin sen jatkojalostamiseen. Tässä vaiheessa malleissa alettiin testaamaan enemmän myös kiinnitysmekanismia, sekä muodon tarkempia mitoituksia ja yksityiskohtia, sekä tulevan näytön ja muiden komponenttien mahdolluttamista mahdollisimman pieneen tilaan. Laitteesta oli tuli saada fyysisesti mahdollisimman pieni ja kevyt, kuitenkin siten, että näyttö olisi mahdollisimman iso. Näytön valmistajien vaatimukset kuitenkin lopulta määrittivät sen, minkä kokoiseksi näyttö mekaniikkaan tuli. Tämä asetti myös suunnittelulle haasteita, koska mittasuhteiden tuli olla esteettisesti tasapainossa.



3D-tulosteita kiinnitysratkaisuista

Kun kiinnitysmekanismi ja muotokieli oli saatu suunnittelutiimin mielestä valmiiksi, voitiin siirtyä järjestelmätason ja yksityiskohtien suunnitteluun. Tässä vaiheessa

tuotekehitysprojektiin otettiin mukaan myös mekaniikkasuunnittelija, joka huolehti kaikkien komponenttien mahduttamisesta suunnittelemani muodon sisään. Tässä vaiheessa laitteen ulkomittoja jouduttiin vielä odotetusti suurentamaan joitakin millimetrejä. Muotoilijana, kun tavoitteena on suunnitella mahdollisimman pienikokoinen tuote, muodon kasvattaminen johonkin ei toivottuun suuntaan tuntuu ikävältä, mutta mielestäni lopputuloksesta tuli kuitenkin jopa yllättävän onnistunut ja tasapainoinen. Mittoja jouduttiin kasvattamaan sekä reunoista, että alalaidasta, jotta kaiuttimen ja latausliittimen komponentit saatiin mahtumaan mekaniikan sisään.



Loppuvaiheen 3D-tulosteita, tämän jälkeen muutoksia tehtiin vielä laitteen yläosaan. Nämä mallit on maalattu.

Kun malleista oli ensimmäiset täysin toimivat prototyypit tehty, huomattiin, että laitteen rungon yläosaa tulisi vielä tukevoittaa, koska 3D-tulosteissa laitteen yläpään ”sarvet” tuntuivat turhan joustavilta, kun laite kiinnitettiin infuusioletkuston tippakammioon. Tämän testivaiheen jälkeen tehtiin vielä uusi 3D-tulostettu malli, jossa laitteen etulaidan tuet, johon tippakammio käytön aikana nojaa, yhdistettiin siltamaiseksi muodoksi. Tämä tukevoitti rakenteen sopivaksi, ja suunnitteluvaiheessa pystyttiin etenemään ruiskuvalumuottien suunnitteluun ja valmiiden tuotteiden valmistukseen. 3D-tulosteiden hyödyntäminen osana tuotekehitystä Monidor Oy:ssä päättyi tähän vaiheeseen.



Muodon kehittyminen kuvassa. Oikeassa reunassa viimeinen designmuutos, jossa laitteen etupuolen tuet yhdistettiin siltamaiseksi muodoksi

Vaikka, väri vaihtoehtoja testattiin jo alkuvaiheesta lähtien, valmiit infuusiomonitorit päätettiin lopulta tehdä kahdessa värissä, cyaninsinisessä ja fuksianpunaisena. Vaikka 3D-tulosteita tilattiin eri väreissä, värit eivät olleet siellä päinkään värejä, joita haimme. Väri valinnat olivat helpointa tehdä tilaamalla Pantone värikartan sävyjä muovinäytteinä. Toisaalta testatut värit antoivat jo hyvin suuntaviivaa sille, mitä haettiin ja mihin haluttiin pyrkiä. Cyaninsininen valikoitui jo alkuvaiheessa yrityksemme tunnusväriksi, ja oli siksi luonteva ja kuitenkin muista lääkinnällisistä laitteista erottuva väri. Fuksianpunainen oli loppukäyttäjiltä kysyttäessä ylivoimaisesti suosituin väri, ja fuksianpunainen tuote onkin herättänyt hoitajissa ihastuneita reaktioita.



Valmiit ruiskuvalamalla valmistetut infuusiomonitorit. Vasemmalla fuksianpunainen ja oikealla cyaninsininen laite.

2.3 Tutkimusmenetelmät

Tutkimusmenetelmänä käytän aineistolähtöistä sisällönanalyysia, jonka avulla yritän löytää aineistostani vastauksia asettamiini tutkimuskysymyksiin. Aineiston järjestämiseksi olen etsin siitä teemoja ja löydöksiä, jotka auttavat järjestämään aihealueita ja kirjallisuutta yhteen.

Sisällönanalyysi on menettelytapa, joka sopii hyvin strukturoimattomankin aineiston analyysiin. Analyysimenetelmällä pyritään saamaan tutkittavasta ilmiöstä kuvaus tiivistetyssä ja yleisessä muodossa. Sisällön analyysi ei tuota suoraan tuloksia, vaan johtopäätökset on tehtävä järjestetystä aineistosta. (Tuomi 2009, 103-104.)

Analyysin vaiheet on kuvattu spiraalikuvauksena, jossa aineisto kuvataan, luokitellaan, etsitään yhteyksiä ja lopulta raportoidaan. Kuvailussa pyritään kartoittamaan henkilöiden, tapahtumien tai kohteiden ominaisuuksia tai piirteitä. Luokittelussa luodaan kehys, jonka varassa aineistoa voidaan myöhemmin tulkita sekä

yksinkertaistaa ja tiivistää. Luokat täytyy voida perustella sekä käsitteellisesti, että empiirisesti. Yhdistelyvaiheessa luokkien välille yritetään löytää samankaltaisuuksia. Laadullisissa tutkimuksissa tutkimus on tulkinnallista siten, että tulkintoja tehdään monissa vaiheissa. Tutkija tulkitsee tutkittavan tulkintoja ja lukija tulkitsee tutkijan tekemiä tulkintoja. (Hirsjärvi 2011, 143-152).

Jodie Moule neuvoo luokittelemaan saadun aineiston ryhmittelemällä löydöksiä teemojen mukaan. Näin informaation saa määriteltyä ja turhan materiaalin poistettua. Ryhmittelemällä, tarkastelemalla ja muuntelemalla löydöksiä voidaan jatkaa analyysiä. (Moule 2012, 87-89).

Vertailen tutkimuksessani tippalaskurin tuotekehitysprosessia Ulrich&Eppingerin tuotekehitysprosessiin niiltä osin kuin se koskee tekemääni työtä. Tämän vertailun pohjalta luon mallin 3D-tulostamista hyödyntävästä tuotekehitysprosessista. Lisäksi arvioin 3D-mallien merkityksiä Monidor Oy:n toiminnassa tarkemmin, eli mihin ja miten niitä käytetään ja mitä hyötyä tulosteista on muotoilijalle ja yrityksille yleensä. Tutkin aineistoni dataa jaottelemalla ne tutkimieni teemojen mukaan, vertailen niitä jo olemassa olevaan tietoon ja pyrin tekemään johtopäätökseni näiden pohjalta.

2.4 Keskeiset käsitteet

Lääkinnällinen laite määritelmänä käsittää instrumentit, laitteistot, välineet, ohjelmistot, materiaalit tai muut tarvikkeet, joita käytetään joko yksinään tai yhdistelminä, mukaan luettuina valmistajansa erityisesti diagnosointi- ja/tai hoitotarkoituksiin tarkoittamat ja lääkitsevän laitteen asianmukaiseen toimintaan tarvittavat ohjelmistot, jotka valmistaja on tarkoittanut käytettäväksi ihmisten:

- a) sairauden diagnosointiin, ehkäisyyn, tarkkailuun, hoitoon tai lievitykseen,
- b) vamman tai vajavuuden diagnosointiin, tarkkailuun, hoitoon, lievitykseen tai kompensointiin,
- c) anatomian tai fysiologisen toiminnon tutkimiseen, korvaamiseen tai muunteluun,
- d) hedelmöitymisen säätelyyn,

ja joiden pääasiallista aiottua vaikutusta ihmiskehossa tai - kehoon ei saavuteta farmakologisin, immunologisin tai metabolisin keinoin, mutta joiden toimintaa voidaan tällaisilla keinoilla edistää.

Lääkinnällisen laitteen tulee täyttää asetuksessa määritellyt vaatimukset, ja vaatimusten mukaisuus osoitetaan CE-merkillä. Tuotteen riskiluokka määrittelee, voiko valmistaja itse arvioida vaatimustenmukaisuuden vai onko ns. ilmoitetun laitoksen (Notified Body), evaluoitava tuote. (Linnavuori 2015)

Lääkinnällisten laitteiden, alan toimijoiden ja laitetutkimusten valvontatehtävät on siirretty Valvirasta Fimeaan tammikuusta 2020 lähtien. Lääkinnällisten laitteiden valvonnassa valvotaan terveydenhuollon laitteiden ja tarvikkeiden vaatimustenmukaisuutta ja Suomessa toimivia alan toimijoita. Tuotteiden vaatimustenmukaisuuden valvonta koskee kaikkia markkinoille jo saatettuja lääkinnällisiä laitteita, sekä niiden oikeaa käyttöä. Lisäksi valvotaan sosiaali- ja terveydenhuollon tietojärjestelmien olennaisten vaatimusten toteutumista sekä lääkinnällisten laitteiden markkinointia. (Valvira 2019.)

Tässä tutkimuksessa aineistona käytetyn lääkinnällisen laitteen riskiluokka on Im, eli luokan 1, mittaustoiminnan sisältävä laite. Laite on jo saatettu markkinoille ja se täyttää kaikki lääkinnälliselle laitteelle määritellyt vaatimukset. Yritys noudattaa toiminnassaan ISO 13485 standardin mukaista laadunhallintajärjestelmää (Monidor 1.). Laitteen vaatimusten mukaisuuden on arvioinut ilmoitettu laitos (Notified Body CE0598) (Monidor 2.).

Teollinen muotoilu on toimintaa, jossa on tarkoitus tuottaa parempaa ihmisen rakentamaa ympäristöä. Teollinen muotoilu toimii liiketoimintaympäristössä, ja se yhdistää tutkimusta, taidetta ja teknologiaa. (Kettunen 2000, 10).

Suurinta osaa tuotteista markkinoilla voidaan jollain tavalla kehittää käyttämällä hyvää teollista muotoilua. Kaikki tuotteet, joita käytetään, joilla käytetään ja jotka ihmiset näkevät ovat vahvasti riippuvaisia teollisesta muotoilusta menestyäkseen markkinoilla. Teollinen muotoilu voi näkyä tuotteessa kahtena ulottuvuutena, ergonomiana ja ulkomuotona. Mitä tärkeämpi jompikumpi tai molemmat ulottuvuudet ovat, sitä tärkeämpi rooli teollisella muotoilulla tuotteelle on. (Ulrich & Eppinger 2012, 211).

Prototyyppi on luonnos tuotesuunnitelmasta. Prototyypit nopeuttavat tuotekehitysprosessia auttamalla suunnittelijoita, insinöörejä, markkinointitiimejä ja valmistajia tarkistamaan, että tuotteen design näyttää, tuntuu, ja toimii kuten pitääkin. (Lipson & Kurman, 30).

Prototyypit voidaan jakaa kahdella tavalla. Fyysisiin prototyyppisiin ja analyttisiin prototyyppisiin. Kun fyysisen prototyypit ovat käsinkosketeltavia esineitä, analyttiset prototyypit edustavat tuotetta ei kosketeltavalla, yleensä matemaattisella tai kuvallisella tavalla. Analyttiset prototyypit ovat esimerkiksi tietokonesimulaatioita, tai kolmeulotteisia tietokonemallinnuksia. Fyysisiin prototyyppisiin kuuluvat mallit, jotka näyttävät ja tuntuvat oikealta tuotteelta, konseptin mukaiset prototyypit, joita käytetään idean nopeaan testaamiseen, sekä kokeellinen laitteisto, jota käytetään tuotteen toimivuuden arviointiin. (Ulrich, Eppinger & Yang 2020, 297).

Fyysinen prototyyppi on käsin kosketeltava artefakti, joka on luotu tuotteen arviointia varten. Fyysisten prototyyppien lisäksi on olemassa myös analyttisiä prototyyppisiä, jotka eivät ole käsin kosketeltavia, vaan esimerkiksi matemaattisessa tai visuaalisessa muodossa. Tässä tutkimuksessa keskitytään fyysisiin prototyyppisiin ja niiden tuottamiseen. Prototyyppi on arvio tulevasta tuotteesta yhdestä tai useammasta kiinnostuksen kohteen näkökulmasta. Prototyyppi voi olla kattava ja kokonaisvaltainen versio tulevasta tuotteesta, jolloin suurin osa tai kaikki prototyypin ominaisuuksista ilmentävät tuotteen ominaisuuksia. Prototyyppi voi olla myös keskittynyt, eli ilmentää vain yhtä tai muutamaa tuotteen ominaisuutta. Keskittyneistä prototyypeistä esimerkkeinä voidaan mainita näköismalli, jolla arvioidaan ulkonäköä ja toiminnallinen malli, jolla testataan tuotteen toimivuutta. (Ulrich, Eppinger & Yang 2020, 297-300).

Fyysinen prototyyppi tarkoittaa prosessia, jossa tuotetaan käsin kosketeltavia arvioita tuotteista yhden tai useamman kiinnostavan näkökulman tarkasteluun. Prototyyppien avulla voidaan selvittää, miten tuote toimii ja miten se vastaa käyttäjien ja asiakkaiden tarpeisiin. (Ulrich & Eppinger 2020, 297).

Prototyypeissä on olemassa monenlaisia malleja eri tarkoituksiin. Hahmomallit ovat kuin kolmiulotteisia luonnoksia. Joissakin tuotteissa, jotka vaativat paljon ergonomiaa voi olla hyvä siirtyä nopeasti piirtämisestä hahmomallien tekemiseen ja niiden kautta

tutkimiseen. Hahmomallien on oltava edullisia ja nopeita valmistaa. Ulkonäkömalli tarkoittaa viimeisteltyä mallia, joka näyttää tuotteelta, mutta ei välttämättä toimi kuten lopullinen tuote. Ulkonäkömalli on usein tarpeellinen, kun halutaan esitellä ja testata muotoilua, sekä hyväksyttää muotoilua asiakkaalla tai yrityksen johtoryhmällä. Ulkonäkömalleja voidaan käyttää myös markkinointiin. Kettunen 2000, 101).

3D-tulostaminen tarkoittaa teknologiaa, jonka avulla voidaan tuottaa 3D CAD-tiedostosta fyysisiä objekteja. 3D tarkoittaa kolmeulotteisuutta. Teknologiaa on kutsuttu myös pikamallivalmistukseksi, koska teknologia on sovelnut nimenomaan prototyyppien valmistamiseen (englanniksi rapid prototyping). (Ulrich & Eppinger, 2012, 302).

3D-tulostus hyödyntää tekniikkaa, jossa kappale rakentuu kerros kerrokselta materiaalia lisäten. Menetelmää kutsutaan myös AM-menetelmäksi, jonka nimi tulee englannin kielen sanoista ”additive manufacturing”, joka tarkoittaa lisäävää valmistusta. Kaikki 3D-tulostimet käyttävät 3D-CAD ohjelmistoa, jotka mittaavat tuhansia poikkileikkauksia, joiden perusteella kerrokset rakentuvat. 3D-tulostimet toimivat samoin, kuin normaalit laser- tai mustesuihkutulostimet, mutta musteen sijasta ne käyttävät jauhetta, joka hitaasti rakentaa tuotteen kerros kerrokselta. (Berman 2012, 155).

3D-tulostaminen on siis yksi RP-menetelmää hyödyntävä teknologia, mutta eroaa muista edullisella hinnoittelullaan ja siinä että 3D-tulostimet toimivat yhdessä CAD-ohjelmistojen kanssa. (Berman 2012, 156). RP-menetelmiin voidaan lukea kaikki tavat valmistaa tuotteita tietokoneelta CAD-datan perusteella lisäämällä materiaalia, mutta 3D-tulostaminen tarkoittaa RP-menetelmää, jossa kappaleen valmistus tehdään materiaalia lisäten. (Bryden 2014, 68).

RP-menetelmä on pikamallivalmistusta, niin sanotuilla rapid prototyping koneilla. Ne eroavat 3D-tulostimista lähinnä hinnassa, koossa ja työn laadussa. Nämä laitteet ovat kalliita ja vaikeampikäyttöisiä, mutta niillä voidaan tuottaa tarkemman laatuista prototyyppisiä ja isompia osia kuin varsinaisilla 3D-tulostimilla. (Grenda 1999, 19-20).

CAD tarkoittaa tietokoneavusteista suunnittelua ja tulee englannin kielen sanoita ”computer aided design”. CAD-ohjelmistot ovat kaksi tai kolmeulotteisia ohjelmia, joiden avulla voidaan piirtää ja määrittää tuotekohtaiset spesifikaatiot. (Bryden 2014,

164). CAD-tiedostoista voidaan tuottaa malleja tai niiden osia 3D-tulostamista hyödyntäen.

Tuotekehitysprosessi on vaiheiden sarja, joka muuttaa joukon syötteitä joukoksi ulostuloja. Tuotekehitysprosessi on yrityksen käyttämä vaiheiden tai toimintojen sarja tuotteen ymmärtämiseen, suunnitteluun ja kaupallistamiseen. Useimmin nämä vaiheet ovat enemmän älyllisiä ja organisatorisia kuin fyysisiä toimintoja. (Ulrich, Eppinger & Yang 2020, 12.) (Kahn 2011, 25.)

Monet tuotekehitysprosessin vaiheista ja toiminnoista ovat enemmän älyllisiä ja organisatorisia kuin fyysisiä. Jotkut yritykset määrittelevät tarkan ja yksityiskohtaisen tuotekehitysprosessin, jota he seuraavat, kun taas toiset eivät välttämättä pysty edes kuvaamaan tuotekehitysprosessiaan. Jokainen organisaatio käyttää prosessia, joka eroaa ainakin hieman muiden organisaatioiden prosesseista. Sama yritys voi jopa käyttää erilaisia tuotekehitysprosesseja erityyppisissä tuotekehityshankkeissa. (Ulrich, Eppinger & Yang 2020, 12.)

Teollinen muotoiluprosessi voidaan jakaa kuuteen eri vaiheeseen. Ensimmäinen vaihe on asiakkaiden tarpeiden määrittäminen, jossa dokumentoidaan asiakastarpeet. Tietoa haetaan esimerkiksi seuraamalla asiakkaiden toimintaa, haastattelemalla, ja muodostamalla kohderyhmä.

Toinen vaihe on konseptointi, jonka aikana insinöörit etsivät ratkaisuja tuotteen teknisiin toimintoihin. Tässä vaiheessa teolliset muotoilijat keskittyvät luomaan tuotteen muodon ja käyttöliittymät. Teolliset muotoilijat tekevät jokaisesta konseptista yksinkertaisia luonnoksia, joita kutsutaan peukalonpääluonnoksiksi.

Kolmas vaihe on suunnitelman alustava määrittäminen (preliminary definition). Tässä vaiheessa teolliset muotoilijat rakentavat malleja lupaavimmista konsepteista. Mallit rakennetaan yleensä foamista tai vaahtomuovilevystä, ja ne ovat kuvallisen luonnostelun jälkeen toiseksi nopein tapa konseptien arviointiin.

Neljännessä vaiheessa tarkennus ja lopullisen konseptin valitseminen. Tässä vaiheessa teolliset muotoilijat monesti vaihtavat pehmeistä malleista ja piirroksista koviin malleihin ja informaatiointensiivisiin piirustuksiin, joita kutsutaan renderöinneiksi. Renderöinnit näyttävät suunnitelman yksityiskohtaisemmin ja monesti

käyttöympäristössään. Ne voidaan piirtää kaksi- tai kolmiulotteisina ja ne välittävät paljon tietoa tuotteesta.

Viidennessä vaiheessa tehdään ohjauspiirustukset valitusta konseptista. Ohjauspiirustuksissa dokumentoidaan toiminnallisuus, ominaisuudet, koot, värit, pinnan viimeistely ja tärkeimmät mitat. Vaikka ne eivät ole yksityiskohtaiset osapiirustukset, niitä voidaan käyttää viimeisteen design mallien ja muiden prototyyppien valmistamiseen. Tyypillisesti nämä piirustukset annetaan yksityiskohtaisten osien suunnittelijoille loppuun saattamiseksi.

Kuudennessa vaiheessa tapahtuu koordinointi suunnittelun, valmistuksen ja toimittajien kanssa. Teollisen muotoilijan on jatkettava tiivistä yhteistyötä suunnittelu- ja valmistushenkilöstön kanssa koko seuraavan tuotekehitysprosessin ajan. (Ulrich, Eppinger & Yang 2020, 223-227).

3 Käytetyt tulostetyypit ja teknologiat

3.1 3D-tulostuksessa käytössä olevat teknologiat

Tässä luvussa on esitelty tarkemmin yleisimmin käytössä olevat 3D-tulostusteknologiat. Erilaiset teknologiat käsittelevät materiaaleja eri tavoin, mutta suurin osa tulostimista käyttää tulostusprosessissa hyväksi kerrostamista. (3D Printing Industry 1)

3D-tulostamisen määritelmä on mielestäni hiukan epäselvä, koska jotkut määrittelevät 3D-tulostimet laitteiksi, jotka tulostavat tuotteita kerros kerrokselta. Toiset taas pitävät 3D-tulostimia RP-laitteina, jotka on tarkoitettu kuluttajakäyttöön. RP-menetelmä on menetelmä, jossa tuotetaan malleja tuotekehityksen aikana. Nimi tulee englanninkielisestä määritelmästä ”rapid prototyping”, joka tarkoittaa nopeaa mallivalmistusta, jossa kapasiteetti ei riitä massatuotantoon, vaan vain prototyyppien rakentamiseen.

SLA – Stereolithography Aparatus

SLA on vanhin kaupallisesti käytetty 3D-tulostusteknologia. Sen perusti Chuck Hull vuonna 1984, ja hän kaupallisti keksinnön perustamalla 3D Systems yrityksen vuonna 1986. Tulostusteknologia toimii siten, että lasersäde suunnataan polymeerineesteeseen, ja saa aikaan materiaalin kovettumisen. Seuraava kerros lisätään alentamalla valmistettavaa esinettä alaspäin jokaisen uuden kerroksen kovettumisen jälkeen. Tulostuksen jälkeen osa puhdistetaan upottamalla se kemikaaliin ja kovetetaan UV-uunissa. SLA järjestelmiä tuottavat 3D Systems, Envisionec (DLP) ja ZCorp (DLP). (Shapeways 1).

SLS – Selective Laser Sintering

SLS (Slective Laser Sintering) 3D-tulostusteknologian keksi Carl Deckard samoihin aikoihin kuin SLA teknologiakin keksittiin. Tässä prosessissa pienet jauhemuodossa olevat hiukkaset sulavat yhteen käyttämällä laseria. Jauheen alapuolella on rakennusalusta, joka laskee ja tekee tilaa seuraavalle tulostuskerrokselle. Pyyhkijä levittää jauheen uudelleen alustan yli, ja laser sulattaa seuraavan kerroksen. Tämä teknologia tarvitsee tukimateriaalia tai -rakenteita, ja jauhe toimii tukena. SLS:n materiaaleina voidaan käyttää useita muovi- metalli- ja keramiikka-, sekä hiekkajauheita. SLS-järjestelmiä myyvät EOS ja 3D Systems. (Shapeways 1).

FDM - Fused Deposition modeling

FDM menetelmän keksijä on Scott Crump, joka kaupallisti sen yhtiönsä Stratasysin kautta vuonna 1990. FDM-tulostus toimii puristamalla materiaalia suuttimen läpi, ja liikuttamalla suutinta rakennusalustan yli kappaleen muodostamiseksi. Seuraava kerros lisätään laskemassa rakennusalustaa alaspäin. Tukirakenteet tai -materiaalit ovat välttämättömiä tässä tekniikassa, mutta kaikki valmistajat eivät tarjoa tätä vaihtoehtoa, jolloin FDM-tulostimien hyödyllisyys on rajoitettua. Yleisiä käytettyjä materiaaleja ovat muovit, mutta muitakin materiaaliyhdistelmiä käytetään. Monet edulliset harrastustulostimet käyttävät FDM-teknologiaa. FDM-tulostimia myyvät muun muassa Stratasys, Makerbot, UP!, and Fab@Home. (Shapeways 1).

3DP-Thre Dimensional Printing

3DP-tulostusteknologia keksittiin MIT:ssä (Massachusetts Institute of Technology) vuonna 1993. Myös 3DP käyttää jauhetta tulostusprosessissa. Jauhe liimautuu yhteen sideaineella rakennusalustalla. Liikkuva pää tallentaa sideaineen paikalleen. Seuraava kerros lisätään laskemalla rakennusalustaa. Pyyhkijä levittää jauheen uudelleen. Jauhe toimii tukimateriaalina, joten tämä teknologia ei tarvitse erikseen tukirakenteita tai -materiaalia.

Osat ovat hyvin hauraita tulostuksen jälkeen, ja niiden on oltava huolellisesti puhdistettuja ja kovetettuja. Materiaaleina voidaan käyttää laajasti kipsistä keramiikkaan, ja lasista metalleihin. Z Corporationin kaupallinen sovellus tekee mahdolliseksi osien värjäämisen tulostukset aikana, jolloin osat voidaan toimittaa värillisinä. 3DP teknologian tulostimia valmistavat Z Corporation, ExOne ja Voxeljet. (Shapeways 1).

Polyjet matrix printing

Tämä teknologia on Objet Geometries yrityksen oma spesifinen menetelmä. Tulostusprosessin aikana osa rakentuu suulakepuristamalla tai suihkuttamalla hyvin pieniä materiaalipisaroita rakennusalustalle. Useita materiaalipisaroita voidaan tuottaa samanaikaisesti. Kerrostamisen jälkeen materiaali kovetetaan UV-säteilyn avulla. Seuraava kerros muodostetaan edellisen kerroksen päälle. Tämä tekniikka tarvitsee tukimateriaalia tulostusprosessin aikana. Materiaalina käytetään polymeeriä. Tässä menetelmässä on ainutlaatuista se, että siinä voidaan käyttää kahta erillistä materiaalia

osan rakentamiseen, mukaan lukien kahden materiaalin sekoittamisen eri muunnelmin. Polyjet matrix systemsiä valmistaa Object. (Shapeways 1).

EBM – Electronic Beam Melting

Tämän tulostusprosessin on kehittänyt yritys nimeltä Arcam, joka perustettiin vuonna 1997. Tämä teknologia käyttää jauhetta, joka sulatetaan yhteen rakennusallustalla elektronisen säteen avulla. Seuraava kerros rakentuu alentamalla rakennusallustaa ja jakamalla ja pyyhkimällä jauhe uudelleen. Prosessi on samanlainen kuin SLS, mutta siinä käytetään laserin sijasta elektronista sädettä. Jauheet ovat materiaailta aina metalleja, joissa on käytetty erityyppisiä seoksia. Rakennuskammio on tyhjiö, ja se lämpenee 700-1000 °C:seen. EBM teknologian valmistaja on Arcam. (Shapeways 1).

LOM – Laminated Object Manufacturing

Teknologian kehittäjä on Helisys. Se käyttää ohuita materiaaliarkkeja, jotka leikataan laserilla tai veitsellä. Seuraava arkki liimataan edellisen leikatun arkin päälle. Tulostamisen jälkeen ylimääräinen materiaali rikkoutuu irti ja jäljelle jää tulostetut osat. LOM-tulostimissa käytetään yleisimmin paperia, mutta myös muita materiaaleja voidaan käyttää – enimmäkseen erityyppisiä muoveja. LOM-ratkaisuja valmistaa Mcor technologies. (Shapeways 1).

Binder Jetting

Binder Jetting kuuluu lisäävän valmistuksen 3D-tulostusmenetelmiin. Sideaine kerrostetaan valikoivasti jauhekerrokseen sitomalla nämä alueet kiinteäksi osaksi kerros kerrallaan. Yleisesti käytetyt materiaalit tässä teknologiassa ovat rakeisessa muodossa olevat metallit, hiekka, ja keramiikka. Binder Jetting tulostus käytetään esimerkiksi värillisten prototyyppien (kuten hahmojen) valmistukseen, sekä suurten hiekkavalusydämien ja -muottien, sekä edullisten 3D-tulostettujen metalliosien valmistukseen. (3D-Hubs).

3.2 3D-tulostuksessa käytettävissä olevat materiaalit

3D-tulostimilla voi nykypäivänä tulostaa erilaisten muovien lisäksi komposiittipolymeerejä, keramiikkaa ja metalleja. (Bryden 2014, 132). Materiaalit ovat edenneet pitkälle teknologian alkuajoista lähtien. Nykyisin on olemassa laaja

valikoima erityyppisiä materiaaleja, joita käytetään eri muodoissa, kuten esimerkiksi jauheena, filamenttina, pelletteinä, rakeina, hartsina ja niin edelleen. (3D Printing Industry 2)

Muovi-insinöörit jakavat muovit kahteen pääryhmään: termoplastiset muovit ja kovettuvat polymeerit. Nämä kaksi on helppo erottaa toisistaan vertaamalla niitä kananmunaan ja juustoon. Termoplastiset muovit sulavat kuumennettaessa, kuten juustot. Ne eivät myöskään muuta sisäistä koostumustaan kuumennettaessa, kuten juustot, joten niitä voidaan sulattaa uudelleen ja uudelleen. Kananmunien tavoin kovettuvat polymeerit kiinteytyvät kuumennettaessa. Kuten munia, niitä voidaan käyttää vain kerran, koska niiden sisäinen koostumus muuttuu kuumennettaessa. Kovettuvaa polymeeria ei siis voida sulattaa takaisin uudelleenkäytettäväksi nestemäiseen muotoon.

Muovi

3D-tulostimet tulostavat yleisimmin muovia. Vaikka muovi mielletään materiaalina halvaksi, 3D-tulostimissa käytetty muovi on kallista, ja on merkittävin kuluerä 3D-tulostimen käytössä. Monet valmistajat tarjoavat omia patentoituja materiaalejaan. (Lipson & Kurman 2013, 82)

Muovimateriaaleista nylon ja polyamidi ovat yleisimmin käytettyjä FDM tulostusprosessissa. Se on vahva, joustava ja kestävä muovimateriaali ja luotettava 3D-tulostamiseen. ABS on toinen yleisesti käytetty muovi, erityisesti aloittelijatasoisen FDM 3D-tulostimissa hehkulankamuodossa. ABS muovia voi myös ostaa lankamuodossa useilta eri valmistajilta. PLA on biohajoava muovimateriaali, ja sitä voidaan käyttää 3D-tulostamisessa hartsimuodossa DLP ja SL-prosesseissa, sekä lankamuodossa FDM-tulostusprosessissa. PLA ei ole yhtä kestävä tai yhtä joustava kuin ABS. (3D Printing Industry 2)

Metalli

Teollisuustason 3D-tulostukseen käytetään yhä enemmän metalleja ja metallikomposiitteja, joista yleisimmät ovat alumiini- ja kobolttijohdannaiset. Yksi vahvimmista ja siten myös yleisimmin käytetty 3D-tulostusmetalli on ruostumaton teräs jauhemuodossa. Se on luonnostaan hopean väristä, mutta voidaan pinnoittaa muilla materiaaleilla kullan tai pronssin värisiksi. Viime vuosina kultaa ja hopeaa on

voitu tulostaa suoraan 3D-tulostimilla, ja niitä onkin käytetty koruallalla. Kulta ja hopea ovat hyvin vahvoja materiaaleja, ja ne jalostetaan tulostamiseen jauheesta. Yksi vahvimista metallimateriaaleista on titaani, ja sitä on käytetty teollisuudessa 3D-tulostukseen jo jonkin aikaa. Titaani toimitetaan jauheena, ja sitä voidaan käyttää sintraus, sulatus ja EBM prosesseihin. (3D Printing Industry 2)

Kotikäyttöön suunnatut 3D-tulostimet eivät vielä pysty tulostamaan metalliosia, mutta tämä asia on muuttumassa. Tällä hetkellä Fab@Home kuluttajataso tulostimella voi puristaa geelin, johon on sekoitettu metallijauhetta. Tulostetun geelin kovettamiseksi metalliksi tulostettu esine paistetaan uunissa. Tämä ylimääräinen uunissa käytön vaihe aiheuttaa kuitenkin kutistumisen, halkeilun ja vääntymisen riskin. (Lipson & Kurman 2013, 84).

Keramiikka

Keramiikka on melko uusi materiaali, jota voidaan käyttää 3D-tulostukseen. Keramiikkamateriaalien tulostamisen jälkeen niille on tehtävä samat prosessit kuin perinteisesti valmistetuille keramiikkaosille, eli ne täytyy polttaa ja lasittaa. (3D Printing Industry 2)

Lupaava sovellus on keraamisten luuimplanttien 3D-tulostus potilaiden TT-skannauksista. Keraamiset luuimplantit voidaan valmistaa mittatilaustyönä. Ne ovat kolmesta viiteen kertaa vahvempia kuin perinteisillä menetelmillä valmistetut implantit, koska ne ovat vähemmän huokoisia. Vahvemmat keraamiset luuimplantit vähentävät mikrojänteiden irtoamisen todennäköisyyttä leikkauksen aikana, mikä minimoi leikkauksen jälkeisen tulehduksen riskin. (Lipson & Kurman 2013, 84).

Lasi

Vaikka lasi on yksi yleisimmistä ihmiskunnan käyttämistä materiaaleista, se on tullut hitaasti 3D-tulostuksen piiriin. Lasi on hydrofobista, mikä tarkoittaa, että se hylkii vettä, eikä siksi tartu hyvin. Jauhemainen lasi käyttäytyy arvaamattomasti, kun se altistuu kuumuudelle. Washingtonin yliopiston jatko-opiskelijat Grant Marcelli ja Renuka Prabhakar, sekä professorit Duane Stroti ja Mark Ganter ovat tulostaneet tutkimuslaboratoriossa onnistuneesti kierrätyslasiasta valmistettuja esineitä. Silti 3D-tulostetun lasin kaupallinen käyttö on edelleen enimmäkseen taidetta ja jalokiviä. (Lipson & Kurman 2013, 84).

Paperi

Mcor Technologiesin toimittamassa SDL-tulostusprosessissa käytetään tavallista A4-kopiopaperia 3D-tulostukseen. Näiden tulostuskoneiden pääomakustannukset ovat keskitasolla, mutta materiaalitarvikkeet ovat helposti saatavissa ja paikallisesti ostettavissa. Paperista valmistetut 3D-tulostemallit ovat turvallisia, ympäristöystävällisiä, sekä helposti kierrätettäviä, eivätkä ne vaadi jälkikäsitteilyä. (3D Printing Industry 2).

Biomateriaalit

Biomateriaalien 3D-tulostamisen potentiaalia tutkitaan valtavasti monissa lääketieteellisissä ja muissa sovelluksissa. Elävää kudosta tutkitaan ihmisten elinten tulostamista elinsiirtoja varten, sekä ulkoisten osien korvaamista eri kehon osille. Muu alan tutkimus on keskittynyt elintarvikkeiden, kuten lihan kehittämiseen. (3D Printing Industry 2).

Ruoka

Ruoka-aineiden tulostamiseen liittyvät kokeet ovat lisääntyneet viime vuosina, ja suklaa on yleisin tulostettavana käytetty materiaali. On olemassa myös tulostimia, jotka toimivat sokerin kanssa, ja kokeita on tehty myös pastalla ja lihalla. Tulevaisuudessa tähdätään 3D-tulostuksen hyödyntämiseen hienojakoisten kokonaisten aterioiden tuottamiseksi. (3D Printing Industry 2).

3.3 Infuusiomonitorin tuotekehityksessä käytetyt tulostusteknologiat ja -materiaalit

Ennen Shapeways-palvelun käyttöä, kokeilimme myös joidenkin paikallisten toimijoiden tulostuspalveluita, mutta niiden laatu osoittautui liian heikoksi tarpeisiimme. Toiset, laadukkaammat palvelut taas olivat hinnaltaan liian kalliita tarpeisiimme.

Kokeilimme projektin alkuvaiheessa edullisella tulostimella tehtyjä prototyyppejä kahdesta Oululaisesta yrityksestä. Tulosteiden laatu oli kuitenkin mielestämme heikko. Osassa tulostimista oli lisäksi rajoitteita muotojen suhteen, koska tulostimissa ei käytetty tukimateriaaleja. Yhdessä testaamassamme paikassa taas näitä

tukimateriaaleja ei ollut jostain syystä poistettu tulostuksen jälkeen, ja niiden poistaminen olisi ollut valtavan työlästä ja aikaa vievää.

Koska oman kokemukseni mukaan halvemman hintaluokan 3D-tulostimet ovat vielä tulostuslaadultaan heikkoja, voisin omien kokemusteni perusteella suositella pienemmillä resursseilla toimiville yrityksille 3D-tulostuspalveluja tarjoavia yrityksiä. Ulkoista palvelua käytettäessä yritysten ei myöskään tarvitse käyttää kallista työaikaa 3D-tulostimen käyttöön, vaan tilauksen jälkeen posti kuljettaa tulosteet valmiina perille. Haittapuolena esimerkiksi Shapewaysilta malleja tilattaessa iteraatioon käytettävä aika kasvaa hieman yhden prototypointikierroksen aikana, koska malleja joutuu odottamaan noin 8-10 päivää.

Toki alkuvaiheessa konseptointia, kun haetaan vielä karkeita suuntaviivoja, voivat mallit olla työstöjäljeltä karkeitakin, mutta siirryttäessä tarkempaan rakenteiden arviointiin, on tulostusjäljen oltava tarkkaa. Infuusiomonitorin kiinnitystä arvioidessa osat mitoitettiin millin kymmenysoisien tarkkuudella, joten mallien oli oltava laadultaan tarkkoja.

Myöhemmässä tuotekehitysvaiheessa, ennen ruiskuvalumuottien valmistusta, mekaniikkasuunnittelun alihankkijamme tilasi 3D-tulostetut pikamallit, jotka olivat laadultaan todella korkearesoluutioisia ja pinnanlaatu oli erittäin tarkka ja sileä. Nämä mallit olivat tulostettu SLA teknologiaa hyödyntävällä 3D-tulostimella. Malleissa, joita tilasimme Shapewaysilta käytettiin materiaaleina nailonia, jonka nimitys heillä on ”Versatile Palstic”, ja tulostusteknologiana oli SLS (Selective Laser Sintering).

Shapeways kertoo sivuillaan, että tämä nailonmuovi on kestävä, ja sitä voidaan käyttää monenlaisissa sovelluksissa, sekä prototyyppien valmistuksessa, että lopputuotteissa. Materiaali on ohut, riittävän joustava saranoille ja jousille ja paksuna riittävän vahva rakennekomponenteille. Osille on saatavana Premium-viimeistely paremman ulkonäön ja pinnanlaadun aikaansaamiseksi. (Shapeways 2).

Käytimme tätä Premium-viimeistelyä tilaamissamme pikamalleissa. Näiden tulosteiden pinnanlaatu ei ollut aivan sileä, mutta riittävän tarkka kuitenkin. SLA-tulostettu pikamalli, jonka tilasimme tuotekehityksen loppuvaiheessa, oli kuitenkin tarkempi laadultaan ja pinnanmuoto oli tasaisempi ja sileämpi.

Infuusiomonitorin kiinnityssalvan ratkaisua suunnitellessamme, tilasimme joitakin pieniä osia myös metallista valmistettuna. Metallisia osia pystyy tulostamaan pienempinä osina ja ohuempina rakenteina kuin muovisia. Nämä tulosteet olivat materiaaliltaan terästä, ja niiden laatu oli hyvä ja tarkka. Tulostusteknologiana oli käytetty Binder Jettingiä.

Shapeways tarjosi kohtalaisen laadukkaita 3D-tulosteita kohtuullisen edulliseen hintaan. Tippalaskuria tilatessa yhden mallin hinnaksi kaikkine osineen ja postikuluineen tuli noin 60 euroa. Malleja pystyi tilaamaan eri väreissä ja materiaalejakin oli tarjolla perusmuovista erilaisiin metalleihin ja jopa keramiikkaan. Mallin pinnan sai halutessaan kiillotettuna. Olimme erittäin tyytyväisiä Shapewaysilta tilattuihin malleihin. Koska saimme myös tulostenäytteenä mallit useammasta paikallisesta yrityksestä, eikä tulostusjälki ei ollut lähelläkään Shapewaysin tasoa, tästä voisi päätellä, että edullisemmat tai vanhemmat tulostimet eivät vielä tänä päivänä yllä yhtä hyvään jälkeen kuin laadukkaammat, ei kuluttajakäyttöön suunnatut tulostimet.

4 3D-tulosteiden käyttötarkoitukset

4.1 3D-tulosteiden käyttötarkoitukset yleisesti

Tuotekehitysprosessin aikana prototyyppijä voidaan käyttää Ulrich ja Eppingerin mukaan neljään eri tarkoitukseen; oppimiseen, kommunikaatioon, yhteensopivuuden testaamiseen ja välituloksiin, eli projektin kulminaatiopisteisiin. Prototyyppien avulla voidaan selvittää tuotteen toiminnollisuutta ja asiakkaiden tarpeita. Niiden avulla voidaan kommunikoida yrityksen ylimmän johdon, tavarantoimittajan, yhteistyökumppaneiden, ulkoisten tiimin jäsenten, asiakkaiden ja investoijien kesken. Käsin kosketeltava kolmiulotteinen esitys tuotteesta on paljon helpommin ymmärrettävissä kuin suullinen kuvaus tai piirretty luonnos tuotteesta.

Termejä fyysinen prototyyppi ja malli voidaan käyttää kuvaamaan alustavaa kolmiulotteista esitystä tuotteesta, palvelusta tai järjestelmästä. Viime vuosina prototyyppien hyödyntämisestä on tullut suosittua, koska entistä kattavampi käyttö on mahdollista. Fyysiset prototyypit ovat välttämättömiä suunnitteluprosessille, ja niitä käytetään ratkaisemaan tuotekehitykseen liittyviä ongelmia. (Hallgrimsson 2020, 6).

Prototyyppijä on käytetty varmistamaan, että komponentit ja osajärjestelmät toimivat odotetusti yhdessä. Kokonaisvaltaiset fyysiset prototyypit ovat integraatiotyökaluina kaikkein tehokkaimpia, koska ne vaativat kaikkien osien ja osajärjestelmien kokoamisen tuotteeksi. Mahdolliset ongelmat tuotteen toimivuudessa voidaan siis kartoittaa tehokkaasti. Myöhemmässä tuotekehitysvaiheessa prototyyppijä on käytetty demonstroimaan sitä, että tuote on saavuttanut vaaditun toiminnallisen tason. (Ulrich, Eppinger & Yang 2020, 300-303).

3D-tulostusteknologiaa hyödynnettäessä voidaan nopeasti tehdä fyysisiä malleja, joiden avulla voidaan arvioida ulkonäköä ja toiminnollisuutta ennen kuin massatuotantoon tarvittavia kalliita työkaluja kuten muotteja aletaan valmistamaan. Tuotekehitysprosessissa RP-menetelmin valmistettuja malleja voidaan käyttää seuraaviin tarkoituksiin:

1. Yrityksen sisäinen arviointi
2. Designin kokoonpanon, toiminnollisuuden ja ergonomian testaaminen
3. Muotoilumuutosten selkeytys

4. Tuotteen esittely asiakkaille
5. Uusien tuotteiden markkinaselvitys haluttujen kohderyhmien kautta
6. Asiakkaiden vaatimusten arviointi ennen valmistustyökalujen tekoa
7. Tarjousten saaminen valmistajilta
8. Lopullisten mallien luominen helpottamaan silikonimuottien tekoa.
9. Lopullisten mallien luomiseen vahamallaavausta ja hiekkavalua varten
10. Työkaluvalmistukseen ruiskuvalamista varten
11. Visuaaliseksi apuvälineeksi työkalun tekijöille
12. Väliaikaisiksi varaosiksi tuotteiden kokoonpanossa, kunnes oikeat osat ovat saatavilla

(Bryden 2014, 67).

3D-tulostaminen mahdollistaa realististen 3D-prototyyppien luomisen aikaisemmin ja halvemmalla kuin aiemmin oli mahdollista. Asianmukaisella käytöllä nämä prototyypit voivat lyhentää tuotekehitysaikaa ja/tai parantaa suunniteltavan tuotteen laatua. Toimivien prototyyppien nopean valmistamisen mahdollistamisen lisäksi näitä tekniikoita voidaan käyttää tuotekonseptien esittämiseen nopeasti ja edullisesti, mikä helpottaa konseptien esittämistä muille tiimin jäsenille, ylimmälle johdolle, kumppaneille, tai potentiaalisille asiakkaille. (Ulrich, Eppinger & Yang 2020, 308).

Maailmamme koko ajan nopeutuessa, yritykset pyrkivät yhä enemmän lyhentämään aikaa suunnittelusta valmiiseen tuotteeseen. Tuotteen suunnitteluun ja valmistukseen käytetty aika on keskeinen tehokkuusmittari yrityksille, eli mitä lyhyempi aika suunnittelun ja toimivan lopputuotteen välillä on, sen parempi. 3D-tulostus lyhentää aikaa valmiin tuotteen aikaan saamiseksi antamalla suunnittelijoilla ja insinööreille mahdollisuuden luoda tuoteprototyyppijä nopeasti ja edullisesti.

Esimerkiksi autojen valmistajat säästävät aikaa 3D-tulostamalla suunnittelukonsepteja ja näyttämällä niitä projektitiimille, joskus jopa asiakkaille. 3D-tulostaminen on hitaasti korvaamassa käsin foamista tai savesta veistettyjä malleja, vaikka molemmat tekniikat ovat vielä käytössä. Aiemmin, kun prototyyppien tekeminen oli vielä hidasta ja kallista, yritykselle oli riskialtista luottaa vain siihen, että suunnittelu toimii todellisessa elämässä, vaikka sitä ei olla kunnolla testattu käytännössä.

Joitakin 3D-tulostettuja prototyyppijä käytetään suunnittelukonseptien demonstroimiseen. Prototyyppijä käytetään myös testaamaan, miten tuotteen osat tuli

valmistaa massatuotannossa. 3D-tulostetut prototyyppiosat minimoivat erittäin monimutkaisen tuotteen suunnittelulle ominaiset ongelmat. Vaikka digitalisaatio on kasvanut valtavasti, ei fyysisen tuotteen kädessä pitämisen löydy korvaajaa.

Prototyypin lisäksi kasvava alue, johon 3D-tulosteita käytetään, ovat räätälöidyt loppukäyttäjille suunnatut osat, jotka eivät ole prototyyppisiä. Jotkut tulostavat nuppeja, vaihteita, tai muita vanhoja osia, joiden valmistus on jo lopetettu ja joiden tekeminen käsin olisi erittäin kallista. Lääketiede ja hammaslääketiede käyttävät paljon 3D-tulostettuja osia. Aiemmin mittatilaustyönä valmistetut hammasraudat ja -kruunut valmistetaan yhä useammin 3D-tulostamalla. Ilmailu-yritykset taas käyttävät räätälöityjä 3D-tulostettuja osia lentokoneissa. (Lipson & Kurman 2013, 30-33)

Infuusiomonitorin tuotekehityksessä 3D-tulosteita käytettiin suunnitteluratkaisujen arviointiin kahdesta eri näkökulmasta, eli estetiikan sekä toiminnallisuuden arvioinnissa. Tuotetta toki pystyttiin arvioimaan myös kolmeulotteisten CAD kuvien avulla, ja sitä tehtiinkin, mutta lopulliset suunnittelupäätökset tehtiin vasta myös fyysisten 3D-tulosteprototyyppien arvioinnin jälkeen.

3D-tulosteiden avulla pystyttiin kommunikoimaan sisäisesti suunnittelutiimin kesken, sekä ulkoisesti asiakkaille ja yhteistyökumppaneille. 3D-tulosteet olivat myös merkittävässä roolissa infuusiomonitorin käytettävyyden arvioinnissa loppuasiakkailta. 3D-tulosteita hyödynnettiin siis tuotekehityksen tukena, sekä hieman ehkä yllättäen osana tuotteen markkinointia.

4.2 3D-tulosteiden avulla kommunikoiminen sisäisesti suunnittelutiimin kesken

Arvioitaessa tuotteen ulkonäköä suunnittelutiimin kesken, esimerkiksi muotoja ja fyysistä kokoa, oli käsin kosketeltava oikeassa mittakaavassa oleva malli huomattavasti käyttökelpoisempi kuin tietokoneruudulta tarkasteltava piirros. Malleja pystyttiin helposti myös arvioimaan suunnittelutiimin kesken palavereissa, jolloin paikalla oli yleensä 4-6 henkilöä. Fyysisen mallin tarkasteleminen usean henkilön kesken onnistuu kokemuksieni mukaan paremmin kuin yhdeltä näytöltä tarkasteltuna. Tuotteesta saa käsin kosketeltavana paremman käsityksen, koska joka kulma ja puoli on helposti nähtävillä verrattuna käsin piirrettyyn kaksiulotteiseen luonnokseen tai edes kolmeulotteiseen CAD-piirustukseen. Toisaalta millimetrin tarkkuudella

arvioitavat kohdat ja niiden arviointi on järkevämpää ja helpompaa CAD-sovelluksen avulla, koska se tarjoaa nopean tavan zoomata ja mitata pienimmätkin yksityiskohdat tuotteesta, sekä antaa mahdollisuuden läpileikkausnäkyisiin.

Kun fyysisten tulosteprototyyppien avulla pystyttiin arvioimaan luotettavasti tuotteen rakennetta ja toimivuutta, tuli suunnittelutyö tehtyä laadukkaasti. Suunnitteluratkaisujen arviointi 3D-tulosteiden avulla kriittisissä ulkonäön ja toiminnallisuuden suunnitteluvaiheissa lisää siis kokemuksiini mukaan suunnittelun kustannustehokkuutta ja laatua.

Prototyyppi voi vähentää riskiä kalliiseen iterointikierrökseen. Prototyypin ostamiseen ja testaamiseen kuluva aika voi antaa kehitystiimille mahdollisuuden havaita ongelma, joka muuten olisi havaittu vasta kalliiden kehitystoimien jälkeen, kuten esimerkiksi ruiskuvalumuotin rakentamiseen. (Ulrich, Eppinger & Yang 2020, 14). Jos yrityksellä on mahdollisuus tuottaa nopeasti tarkkoja fyysisiä prototyyppijä 3D-tulostamalla, kannattaa muutokset designissa testata. Koska 3D-tulosteet ovat tarvittaessa nopeasti saatavilla, voidaan arviointi- ja korjauskierroksia tehdä nopeasti, jolloin tuotekehitysprosessi voidaan viedä läpi nopeasti ja tehokkaasti. Tämä luonnollisesti tuo yritykselle myös kustannussäästöjä, ja parhaassa tapauksessa kilpailuetua, jos uusi tuote voidaan saattaa nopeammin markkinoille. Tämä voi olla yritykselle tärkeä kilpailuetu etenkin, jos tuotteelle on tulossa samaan aikaan kilpailijoita.

4.3 3D-tulosteet yrityksen ulkoisessa kommunikoinnissa

Prototyypit parantavat viestintää ylimmän johdon, toimittajien, yhteistyökumppaneiden, laajennetun tiimin jäsenten, asiakkaiden ja sijoittajien kanssa. Tämä pätee erityisesti fyysisiin prototyyppeihin. Kosketeltava kolmeulotteinen ymmärtää kuin suullinen kuvaus tuotteesta, tai edes kuvaluonnos. (Ulrich, Eppinger & Yang 2020, 301).

Monidorilla 3D-malleja käytettiin varsinkin konseptointivaiheessa käyttäjäpalautteen lisäksi myös yrityksen ulkoisessa kommunikoinnissa, erityisesti etsittäessä rahoittajia tuotekehitykset loppuunsaattamiseksi ja tuotteen markkinoille vientiin. Startup-yrityksissä koko tuotekehitys on monesti riippuvainen ulkopuolisesta rahoituksesta. Pelkällä idealla ja kuvilla ajatusta voi olla vaikeaa myydä, joten jopa alkuvaiheen umpimuoviset 3D-tulosteet antoivat jotain konkretiaa tuoteideasta teknologian lisäksi.

3D-tulostettua prototyyppiä esiteltiin useille rahoittajille ja yhteistyökumppaneille. Vaikka mallit olivat umpinaisia muovikappaleita, ja niihin oli liimattu laminoitu kuva näytöstä, joku jopa erehtyi luulemaan prototyyppiä toimivaksi tuotteeksi. Näin jälkepäin toimitusjohtajamme totesi, että konkreettisen fyysisen mallin esittely jo aikaisessa vaiheessa antoi yritykselle uskottavuutta, vaikka malli ei ollutkaan vielä toiminnallinen. Fyysinen käsinkosketeltava malli muun esitysmateriaalin tukena kokemukseni mukaan antaa paremman vaikutelman esimerkiksi tuotteemme pienestä koosta. Useasti kävi niin, että asiakas tai yhteistyökumppani oli nähnyt etukäteen esityksen tietokoneelta, mutta fyysisessä tapaamisessa saimme kuulla, että ”näin pienikö tämä onkin”. Tuotteen kokoa voi siis olla monesti vaikea arvioida kuvista, vaikka niihin olisikin esimerkiksi liittännyt käden pitelemään tuotetta, jotta mittakaavan pystyy silmin havaitsemaan.

Erityisesti startup yritysten, joiden taloudelliset resurssit ovat rajalliset, voisi siis olla järkevää tuottaa esteettisesti silmää miellyttävä designkonsepti, ja siitä 3D-tulostettu prototyyppi jo hyvin aikaisessa vaiheessa rahoituksen ja muiden yhteistyökumppaneiden hakemiseen. Muotoilijan voisi siis olla hyvä ottaa mukaan tuotekehitykseen ihan ensimmäisinä henkilöinä jo varhaisessa ideavaiheessa, kuten Monidor Oy:ssä toimittiin. Ainakin uudentyyppisten tuotteiden kohdalla. Tuotekehityksen lisäksi 3D-tulosteita voi siis hyödyntää jo hyvin alkuvaiheessa osana tuotteen markkinointia sekä asiakkaille, että yhteistyökumppaneille kuten tuleville rahoittajille.

Tämä löydös, että 3D-tulosteista voi olla apua myös alkuvaiheen tuotteen markkinoinnissa oli yllättävä. Yrityksen toimitusjohtajan mukaan konkreettinen toimimatonkin malli toi yritykselle uskottavuutta alkuvaiheessa, ja loi mielikuvan jo lähes valmiista tuotteesta, vaikka todellisuudessa tuote oli vielä kaukana valmiista. Tämänkin takia 3D-suunnittelun ja tulosteiden, ja yleensäkin muotoilun mukaan ottaminen tuotekehitykseen jo ensimmäisistä askeleista lähtien näyttäisi olevan järkevää.

4.4 3D-tulosteet tuotteiden käytettävyyden arvioinnissa

3D-tulostamista hyödynnetään yrityksissä prototyyppien ja mockup-mallien tekemisessä, jolloin useiden mallien valmistus helpottuu ja kustannukset laskevat.

Prototyyppejä voidaan valmistaa samoista väreistä ja samoista materiaaleista kuin oikeatkin tuotteet. Prototyyppien muuntelu on helppoa ja markkinoijat voivat paremmin testata tuotteita käytettävyyden ja estetiikan näkökulmasta. Löytämäni lähteen mukaan yritysten toimitusjohtajat mainitsivat, että 3D-tulostamien hyödyntäminen on halpaa ja tulostimet ovat käynnissä käytännössä koko ajan. Mockup-malleissa voi kustannussyistä käyttää halvimpia materiaaleja. (Berman 2012, 159).

Infuusiomonitorin käytettävyyttä arvioitiin pääasiassa tulevilla loppukäyttäjillä, eli sairaanhoitajilla, mutta ensivaiheessa myös suunnittelutiimin kesken. Suunnittelupäätöksissä huomioitiin sekä käyttäjiltä saatu palaute, että suunnittelutiimin näkemys asiasta.

Konseptointivaiheessa käytettävyyttä arvioitiin ensin web-kyselyn avulla, jossa oli kuvia kolmesta erilaisesta tippalaskurikonseptista. Tämän jälkeen tilattiin ensimmäiset 3D-tulosteet, joiden avulla kerättiin käyttäjäpalautetta. Palautetta kerättiin ryhmäteemahaastattelun avulla Oulun yliopistollisen sairaalan TestLab testausympäristössä syksyllä 2015. Paikalla oli 6 sairaanhoitajaa sairaan eri osastoilta. Hoitajia haastateltiin ryhmässä erilaisten teemojen avulla liittyen tippalaskurin käytettävyyteen. 3D-mallien avulla testattiin tippalaskurin kiinnitysmekanismia, virtapainikkeen sijoittelua ja tuotteen estetiikkaa. Ilman käsin kosketeltavia 3D-malleja käyttäjäpalautteen kerääminen olisi ollut haastavaa, koska konkreettinen esine on helpompi esitellä.

Tämän kokemuksen pohjalta toimimatonkin fyysinen prototyyppi mahdollistaa arvokkaan käyttäjäpalautteen keräämisen jo varhaisessa vaiheessa verrattuna esimerkiksi pelkkään kuvaan. Kuviakin toki alkuvaiheessa käytettiin, mutta kun saimme 3D-mallit nähtäville ja loppukäyttäjien arvioitavaksi, hylkäsimme alkuperäisen suosikkimallimme, joka kuvissa oli näyttänyt mielestämme paremmalta. Myös käyttäjät arvioivat kokonaisuutena paremmaksi tämän jälkimmäisen mallin.

3D-tulosteita pystyi tilaamaan Shapewaysilta eri väreissä, joten värien toimivuuttakin pystyttiin arvioimaan jossain määrin 3D-tulosteilla, vaikkakin värivalikoima oli hyvin rajallinen.

Saimme teemahaastattelusta vastauksia siihen, miten laitteesta suunniteltaisiin mahdollisimman helposti puhdistettava, mikä olisi optimaalinen sijoittelu virtanapille,

mikä muoto hoitajille tuntui parhaalta, ja mitä muita vaatimuksia hoitoalan ammattilaiset oman kokemuksen perusteella kaipasivat. Oli hyödyllistä kuulla esimerkiksi heidän kokemistaan haasteista olemassa olevien infuusiolaitteiden kanssa. Käyttäjät kokivat heillä käytössä olevat laitteet isoiksi, kömpelöiksi ja vaikeakäyttöisiksi. Jos näitä laitteita ei ollut välttämätöntä käyttää, ne hoitajien sanojen mukaan jäivät hyllyyn. Tämä tieto sai suunnittelutiimimme ottamaan suunniteltavan infuusiomonitorin vaatimuksiksi suunnitella mahdollisimman pieni ja helppo- ja nopeakäyttöinen tuote, joka ei jää käyttämättä sen takia, että se on liian monimutkainen tai muuten työläs käyttää. Teemahaastattelussa 3D-tulostemallit saivatkin kiitosta pienestä koosta. Saimme myös arvokasta tietoa tuotteen jatkokehittämistä varten.

3D-tulosteen pinta oli hieman karhea, ja tämä herätti heti sairaanhoitajien huomion puhdistettavuuden kannalta. Käyttäjien mukaan osastoilla voi olla paljon eritteitä, joten mahdollisuus huolelliseen puhdistamiseen on tärkeää.

Haastateltavat hoitajat myös toivoivat, että pinta olisi muutenkin mahdollisimman tasainen ilman rakoja jonne lika voisi kerääntyä. Terävät kulmat todettiin myös hankaliksi puhdistettavuuden osalta. Yksi hoitajista sanoi, että eritetahrat eivät erotu tarpeeksi hyvin mustasta tippalaskurista.

Saadun palautteen perusteella TIPLA tippalaskurin suunnittelussa täytyi ottaa puhdistettavuus huomioon sekä muodon, värien, että materiaalivalintojen osalta. Laitteesta tulee suunnitella mahdollisimman tiivis ja pinnan muodoiltaan tasainen,



jotta puhdistus olisi käyttäjille mahdollisimman helppoa. Materiaalit täytyy valita siten, että ne kestävät sairaalassa käytössä olevia puhdistusaineita, kuten 80 prosentista alkoholia. 3D-mallien avulla puhdistettavuutta pystyttiin arvioimaan loppukäyttäjien avulla tehokkaasti. Pystyimme ottamaan jatkosuunnittelussa huomioon helpon ja tehokkaan puhdistamisen. Nyt, kun tuote on valmis, se on saanutkin käyttäjiltä kiitosta helposta puhdistettavuudesta.

Ennen kun ensimmäiset toiminnalliset prototyypit tilattiin silikonimuottivaluina kesäkuussa 2016, tippalaskurin kuorien toimivuus suhteessa muihin komponentteihin testattiin 3D-tulosteella. Maalasin alhaalla kuvassa olevan mallin punaisella spray-maalilla ja prototyyppiä esiteltiin sairaalavierailuilla ja sen avulla kerättiin käyttäjäpalautetta. Malli oli ensimmäinen, joka oli täysin toiminnallinen niiltä osin kuin laitteen ohjelmisto oli jo valmis. Tätä esiteltiin alan tapahtumissa, kuten sairaanhoitajapäivillä osana tuotteen markkinointia jo alkuvaiheessa.



Toiminnallisia prototyyppjä testattiin sairaanhoitajilla ja -opiskelijoilla simulaatioympäristössä osana lääkinnällisen laitteen suunnittelun käytettävyyden ja riskinhallintaa. Läkinnällisen laitteen suunnitteluun kuuluu tuotteen käytettävyyden arviointi ja testaus, johon kuuluu vapaamuotoisempi formatiivinen evaluointi, sekä kattavampi summatiivinen evaluointi riskinhallinta-arvion myötä esiin nousseista turvallisuuden vaikuttavista käyttöskenaarioista. Summatiivisen evaluoinnin avulla varmistetaan, että lääkinnällinen laite on turvallinen käyttää, eikä sen käytöstä aiheudu vaaratilanteita potilaille. Testipaikkoina toimivat muun muassa Oulun

ammattikorkeakoulun SimLab simulaatioympäristö ja Oulun yliopistollisen sairaalan TestLab testausympäristö. Laitetta testattiin myös Uppsalassa ja Lundilla osana NoTeB hanketta.

Käytettävyydestejä tehtiin aluksi 3D-tulostetuilla laitekuorilla, mutta myöhemmässä vaiheessa silikonivaletuilla prototyypeillä, ja lopuksi lopullisilla ruiskuvaletuilla osilla, ennen kuin tuotteelle saatiin CE-merkintä.

Formatiivisissa evaluoinneissa käytimme 3D-tulosteita, jos arviointiin laitteen ulkonäköä tai toiminnallisuutta. Summatiivisissa evaluoinneissa, joka siis on viimeinen käytettävyyden validointivaihe, tuote oli jo CE-merkkiä vaille valmis markkinoille, ja prototyyppi oli valmistettu ruiskuvalamalla.



Infuusiomonitorin käytettävyydestausta sairaanhoitajilla 16.11.2016 OAMK SimLab testausympäristössä. Infuusiomonitorin vihreä prototyyppi kuvassa oikealla,

4.5 Yhteenveto

RP-prosesseja käytetään laajasti tuotekehityksessä lyhentämään tuotekehitykseen käytettävää aikaa realisoimalla prototyyppi, jota voi suoraan käyttää kokoonpanoissa, tuotetestauksessa ja työkalujen valmistuksessa. 3D-tulostaminen tuo nämä samat ennen vain suurten yritysten käytössä olleet menetelmät myös pienempien yritysten saataville. (Garg ym. 2014, 164).

Aloittelevassa startup yrityksessä erityisesti on tärkeää, että asioita voidaan tehdä tehokkaasti ja pienellä kulurakenteella, koska yrityksellä ei ole välttämättä vielä riittävää rahoitusta, jolla investoida tuotekehitykseen. Edulliset 3D-mallit saatiin riittävän nopeasti, ja tuotekehitys eteni ketterästi ja aikataulussa.

3D-tulostaminen mahdollistaa muotoilijalle helposti suoraan CAD datasta tuotettuja fyysisiä prototyypppejä, joiden avulla tuotteen ominaisuuksia voidaan arvioida tuotekehitysprosessin eri vaiheissa.

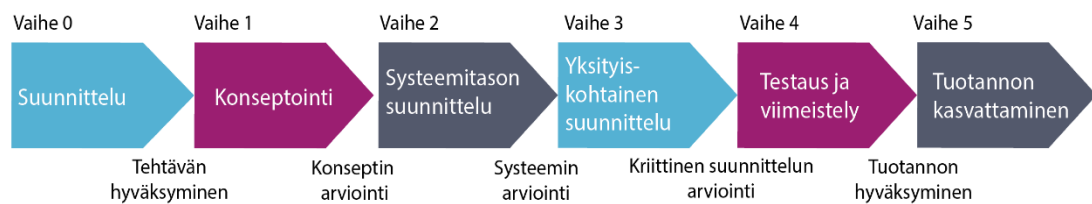
3D-tulostaminen mahdollistaa sellaistenkin muotojen tuottamisen, jotka eivät ruiskuvaluna onnistu (Bothmann, 2014, 9-10.). Jos kehitteillä on muovituote, joka valmistetaan ruiskuvalamalla, asettaa tämä tietynlaiset rajoitteet tuotteen designille jo heti alkuvaiheessa. Esimerkiksi niin sanotut vastapäästöt ovat ruiskuvalussa ongelmallisia, eivätkä onnistu ilman erillisiä ”liftereitä”, eli osia, jotka mahdollistavat myös negatiiviset päästöt tuotteen valmistusprosessissa. Muotoilijan tulee siis tunnistaa, mitkä muodot ovat mahdollista valmistaa ruiskuvalamalla, vaikka ne 3D-tulostamalla onnistuisivatkin.

Tippalaskurin tuotekehityksessä pystyin konsultoimaan käyttämäämme mekaniikkasuunnittelijaa tuotteen valmistettavuuteen liittyvissä kysymyksissä. Konseptivaiheen malliin jouduttiin tekemään pieniä muutoksia juuri vastapäästöjen takia. Myös materiaalipaksuuksia jouduttiin muokkaamaan tasaisemmiksi, jotta ruiskuvalu muotteihin saataisiin syötettyä mahdollisimman ongelmattomasti.

5 3D-tulosteet tuotekehitysprosessin eri vaiheissa

5.1 Geneerinen tuotekehitysprosessi

Tuotekehitysprosessi on yleensä määritelty koostumaan kuudesta eri vaiheesta, jotka Ulrichin ja Eppingerin geneerisen tuotekehitysprosessin määritelmän mukaan ovat suunnittelu, konseptointi, järjestelmätason suunnittelu, yksityiskohtainen suunnittelu, ja tuotannon kasvattaminen. Jokaisen vaiheen jälkeen tehdään yhteenveto kyseisen vaiheen suorittamisesta. Vaihe 0, on suunnitteluvaihe, jonka myötä suunnittelutehtävä hyväksytään. Tämän jälkeen alkaa konseptointivaihe, jonka myötä tuotekonsepti arvioidaan. Sen jälkeen siirrytään järjestelmätason suunnitteluun, jonka myötä luotu järjestelmä arvioidaan. Tämän jälkeen on vuorossa yksityiskohtainen suunnittelu, jota seuraa kriittinen suunnittelun arviointi. Sen jälkeen tehdään testaus ja viimeistely, jonka jälkeen tuotteen tuotanto hyväksytään. Viimeisessä vaiheessa tuotanto kasvatetaan markkinoita varten. (Ulrich, Eppinger & Yang 2020, 14)



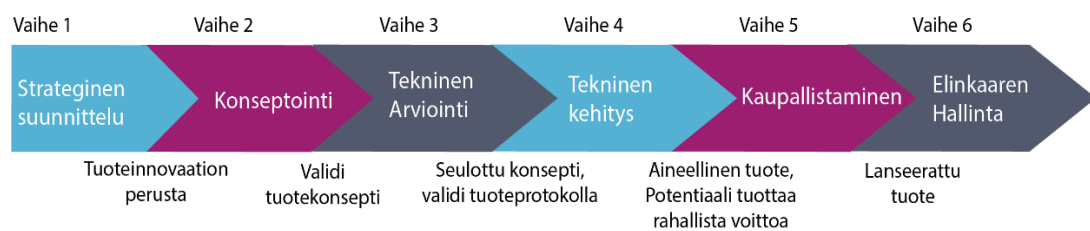
Geneerinen tuotekehitysprosessi (Ulrich, Eppinger & Yang 2020, 14)

Joidenkin tuotesuunnittelijoiden mukaan tuotekehitysprosessi alkaa yrityksen tavoitteesta tai strategiasta, joka puolestaan suuntaa tuotekehitystyön. Toiset taas ajattelevat, että inspiraation innoittama idea tarvitaan prosessin alkuun saattamiseksi, ja strategisen suunnittelun ei pitäisi rajoittaa tällaista ideaa. Molemmat ovat kuitenkin päteviä tapoja aloittaa tuotekehitysprosessi. (Kahn 2011, 25.)

Infuusiomonitorin tuotekehitysprosessin käynnistävänä tekijänä toimi inspiraation innoittama idea, jonka myötä yritys Monidor Oy perustettiin.

Kenneth Kahn on kuvannut tuotekehitysprosessin seuraavalla tavalla. Tuotekehitysprosessi alkaa vaiheesta 1, joka käsittää strategisen suunnittelun, ja jonka tuotoksena syntyy tuoteinnovaation perusta. Vaiheen 2 aikana tehdään tuotteen

konseptointi, jonka tuloksena saadaan aikaan validi tuotekonsepti. Vaiheessa 3, tehdään tekninen arviointi, jonka myötä seulottu konsepti ja validi tuoteprotokolla siirtyy vaiheeseen 4, eli tekniseen kehitykseen. Teknisen kehityksen aikana luodaan käsinkosketeltava aineellinen tuote, jolla on potentiaali tuottaa yritykselle rahallista voittoa. Tämän jälkeen seuraa viides, kaupallistamisen vaihe, jolloin tuote lanseerataan markkinoille. Tämän jälkeen alkaa viimeinen kuudes vaihe, eli tuotteen elinkaaren hallinta. (Kahn 2011, 28)



Tuotekehitysprosessi (Kahn 2011, 28)

Verrattuna Ulrich & Eppingerin tuotekehitysprosessiin, Kahnin määrittelemä tuotekehitysprosessi on pääpiirteissään hyvin samankaltainen kuin Ulrich & Eppingerin malli. Ulrich & Eppingerin prosessi kuitenkin käsittää tarkasti teknisen puolen, kun taas Kahnin prosessissa teknisen tuotekehityksen vaiheet on esitetty karsitummin ja lisäksi mukaan on otettu tuotteen kaupallistaminen, lanseeraus sekä tuotteen elinkaaren hallinta.

Vertaan tässä luvussa infuusiomonitorin tuotekehitysprosessia Ulrich & Eppingerin tuotekehitysprosessiin, koska se sopii paremmin 3D-tulosteiden hyödyntämistä arvioivaan analyysiin teknisen toteutuksen kattavan kuvauksen vuoksi, ja koska Ulrich & Eppingerin lähde teos ”Product Design and Development on tekniikan ja teollisen muotoilun alalla arvostettu teos jo vuosien takaa, ja tuttu muun muassa tenttikirjana. Kahnin tuotekehitysprosessin loppuvaihe keskittyy tuotteen kaupallistamiseen, sekä markkinoille saattamiseen ja elinkaareen, jolloin 3D-tulosteilla ei ole enää roolia tuotekehitysprosessissa., eikä siis siksi ole yhtä sovelias tähän tutkimukseen kuin Ulrich & Eppingerin malli.

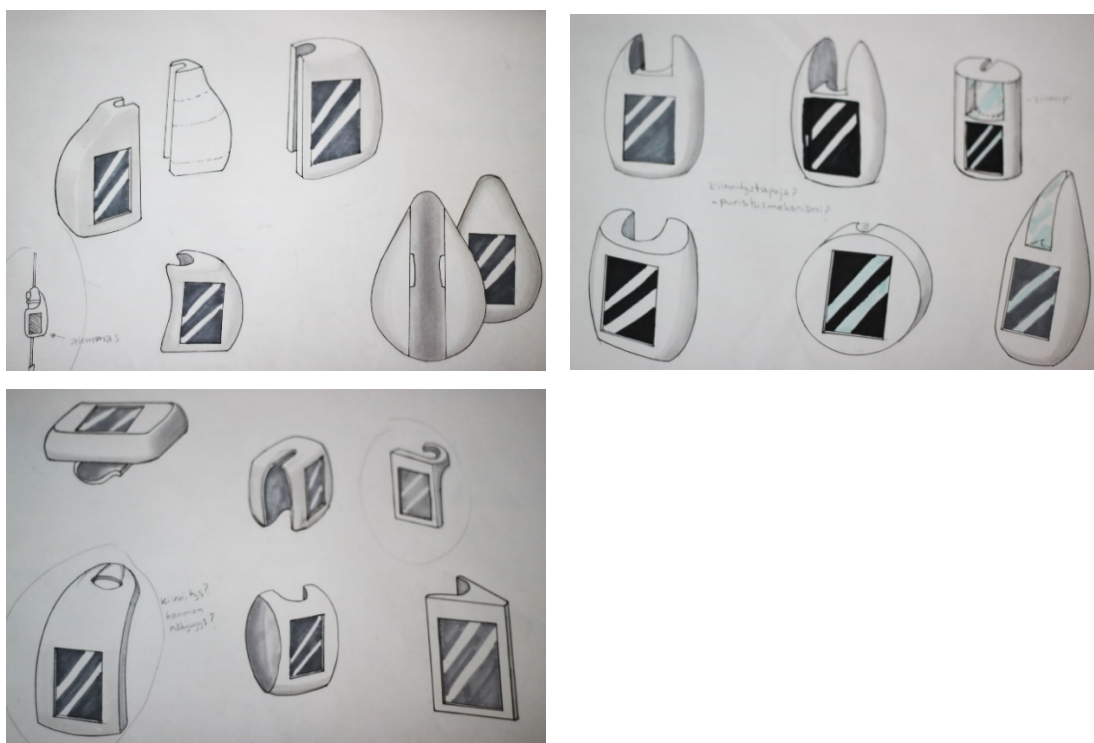
Vaiheet Ulrich & Eppingerin prosessissa myös kuvastavat hyvin infuusiomonitorin tuotekehityksessä käytettyä prosessia, joten 3D-tulosteiden hyödyntämistä siihen

verraton tuntui luontevalta. Infuusiomonitorin tuotekehitysprosessissa 3D-tulosteita hyödynsin vaiheesta 1, eli konseptointivaiheesta vaiheeseen 4, eli testaus ja viimeistely asti. Vaihe 1, eli suunnittelu ennen tehtävän hyväksymistä, sekä vaihe 5, eli tuotannon kasvattaminen ei ole tämän tutkimuksen kannalta olennaista, koska 3D-tulosteita ei näissä vaiheissa hyödynnetty, enkä niitä sen vuoksi käsittele sen takia 3D-tulostamisen näkökulmasta.

5.2 Konseptointi

Konseptointivaiheessa tunnistetaan kohdemarkkinoiden tarpeet, luodaan ja arvioidaan vaihtoehtoisia tuotekonsepteja ja yksi tai useampi konsepti valitaan jatkokehitykseen ja testaukseen. Konsepti on kuvaus tuotteen muodosta, toiminnasta ja ominaisuuksista, sekä taloudellinen perustelu projektille.

Infuusiomonitorin konseptivaiheen suunnittelussa käytin käsin luonnostelua ennen 3D-mallintamista ja 3D-tulosteita. Ensimmäisen ideoiden karsinnan jälkeen veistin foamista muutaman karkean hahmomallin tuotteen mittasuhteiden ja muodon hahmottamiseksi. Ennen tuotteen muodon hahmottelua, oli tehty alustavaa markkinatutkimusta tuotteen tarpeesta, ja tarve todettiin olevan olemassa.



Ensimmäisiä luonnoksia tuotteesta

Eräissä tutkimusartikkelissa vuodelta 2001, käsin tai CNC koneella työstettyjen foam-mallien sanottiin olevan muotoilijoiden suosikkitekniikka konseptoinnissa, ja foam-mallien eduksi todettiin, että mallin työstämisen voi jättää vaikka kesken, kun päätyy haluamaansa ratkaisuun. 3D-tulostetut mallit taas on pakko antaa tulostua valmiiksi, jotta lopputuloksen voi nähdä (Wai, 2001, 2019). Aivan alkuvaiheessa käsin veistetyt foam-mallit voivat siis vielä tänä päivänäkin antaa inspiraatiota uusille ideoille tehokkaammin ja nopeammin kuin 3D-tulostetut hahmomallit, joiden valmistaminen piirtäminen on vielä verrattain hidasta. Tämä on toki tuoteriippuvainen asia.

Tippalaskurin muotoon ei ollut olemassa juurikaan vertailukohtia, koska se on täysin uudenlainen tuote. Tuotteen kiinnitettävyyden, näyttö ja kokoluokka olivat alussa pääasiallisia muotoilutyötä määrittäviä tekijöitä. Foam-mallien käyttö oli konseptointivaiheessa hyödyllistä uusien näkökulmien keksimisessä ja mittasuhteiden hahmottamisessa. Foam-mallit jäivät hyvin karkeiksi luonnoksiksi, mutta auttoivat nopeasti ymmärtämään lisää suunniteltavasta tuotteesta.



Alkuvaiheen quick and dirty foam malleja

Käsin luonnostelun ja ”quick and dirty” prototypoinnin jälkeen siirryin kuitenkin melko nopeasti 3D-mallintamiseen. Karsinnan jälkeen neljästä

muotoiluvaihtoehdoista tilattiin pikamallit Shapeways nimiseltä 3D-tulostuspalveluja tuottavalta yritykseltä. Ensimmäiset pikamallit olivat vielä hyvin suuntaa antavia, mutta asettivat hyvän lähtökohdan tuleville muotoilumuutoksille ja muodon arvioinnille. Perinteisesti pikamallinnustekniikalla on tuotettu prototyyppejä varmistamaan tuotteiden toimivuus ennen työkaluvalmistukseen siirtymistä (Rodgers & Milton 2011, 104). 3D-tulostamisen ansiosta tuotteiden toimivuutta voidaan tarkastella pikamallien avulla edullisesti jo aikaisessa vaiheessa konseptisuunnittelua.

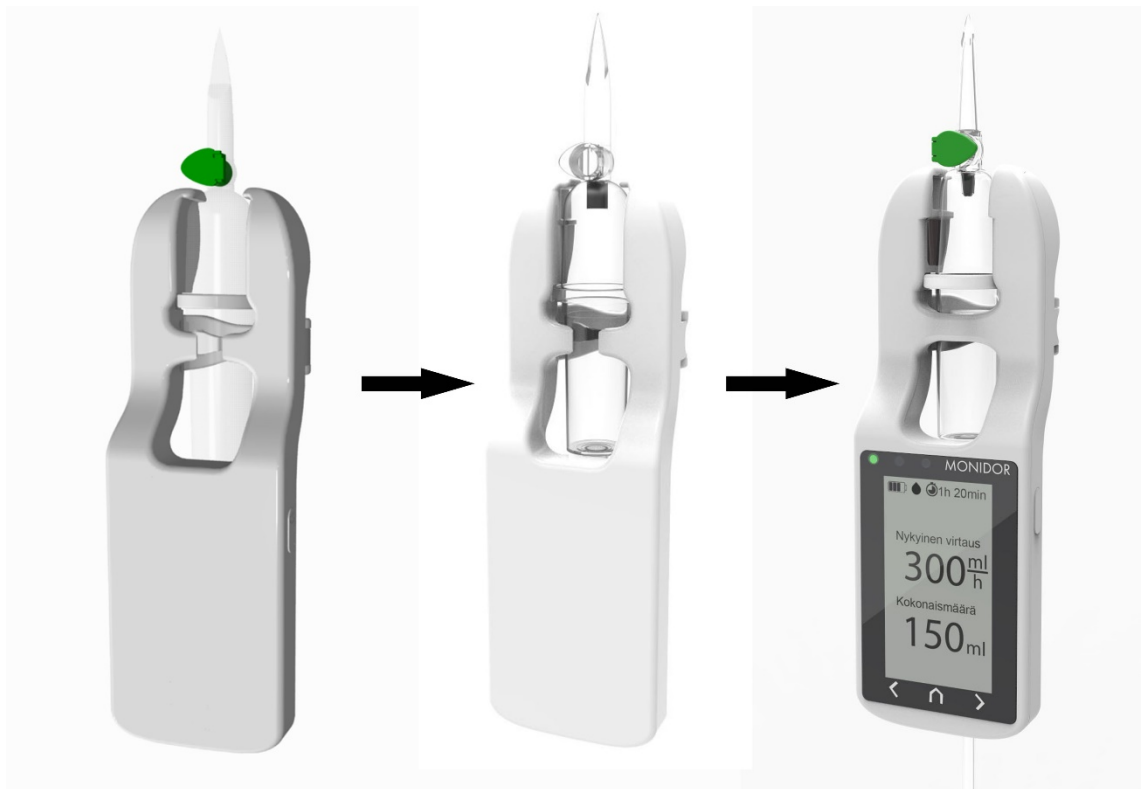
Ensimmäisen arviointikierron jälkeen yllättäen potentiaalisimpana pitämämme malli saikin väistyä toiseksi arvioimamme mallin tieltä loppukäyttäjien ja asiakkaiden antaman palautteen perusteella. Fyysinen malli ei näyttänytkaan tulosteena niin hyvältä kuin tietokoneruudulta, toisin kuin toinen muotoiluvaihtoehto. Erilaisten muotoiluvaihtoehtojen arvioinnissa 3D-tulosteet osoittautuivat hyödyllisiksi jo heti konseptisuunnittelun alkuvaiheessa, kun kehitettävät muotoiluvaihtoehdot oli valittu luonnoksista.



Alkuvaiheen 3D-tulosteita, joilla testattiin kiinnitysmekanismia

Viime aikoihin asti fyysisten prototyyppien tekeminen on ollut niin kallista, että se on usein jätetty tuotekehitysprosessin loppupäähän. 3D-tulostuksen ansiosta on koko ajan helpompaa ja edullisempää tehdä useita pikaisia iterointeja, nopeasti ja halvalla. 3D-tulostamista voi käyttää sekä suoraan prototyyppien tekoon, että muottien tekoon prototyyppejä varten. Rest Devices yhtiö on huomannut kuinka paljon yritys voi tehdä itse talon sisällä ja pienellä budjetilla. He tuottivat harrastajatason 3D-tulostimilla yli sata prototyyppi-iteraatiota kehittämästään vauvamonitorista alle vuodessa. Useilla prototyypeillä he pystyivät koko ajan saamaan palautetta tuotteiden loppukäyttäjiltä, mutta käyttivät tuotekehityskuluihin vain murto-osan siitä, mitä prototointiin olisi kulunut ulkoisesti hankittuna. (Meybaum 2014, 134 -139.)

Infuusiomonitoria muotoiltaessa uusia malleja tilattiin aina kun tuotteeseen tehtiin oleellisia muutoksia. Suunnitteluprosessin aikana heikko puoli Shapewaysiltä tilattaessa oli toimitusaika. Muotoiluprojektin aikana 10-14 päivän toimitusaika ei ollut sinänsä ongelmallinen, koska olimme asettaneet aikataulun sopivan väljäksi ja startup yritys, jolle tuotetta suunnittelin, oli vielä hankkimassa rahoitusta tuotteen valmistamista varten. Hyvin tiukassa aikataulussa yrityksellä voisi olla järkevää hankkia oma 3D-tulostin käyttöön, tai vaihtoehtoisesti palvelu pitäisi pystyä ostamaan ulkopuoliselta palveluntarjoajalta nopealla aikataululla.



Muodon kehittyminen 3D-visualisointina. Ratkaisut testattiin käytännössä 3D-tulosteilla

Suurin osa suunnittelijoista on tutkimusten mukaan sitä mieltä, että uusien konseptien luomisessa on tärkeää päästä nopeasti käsiksi fyysisiin malleihin. Mitä aikaisemmin uusiin malleihin päästään käsiksi, sitä nopeammin saadaan inspiraatiota seuraaviin muutoksiin. (Prinz 1997, 3-4). Oman suunnittelutyön kautta kokeneena olen täysin samaa mieltä, että konkreettiset käsin kosketeltavat mallit olivat mieltä avaavia ja tärkeitä jo alkuvaiheessa. Ajattelen, että juuri tippalaskurin kaltaisessa tuotteessa, jossa muodon ja toiminnollisuuden arviointiin ei ole olemassa suoraan vertailukohteita, olisi tärkeää päästä nopeasti testaamaan pikamalleja. Ilman 3D-tulostustekniikkaa

konseptisuunnitteluprosessi olisi ollut erittäin haastava ja runsaasti aikaa ja resursseja vievä. Tuotteen esteettisen arvioinnin lisäksi kiinnitettävyyttä oli erittäin tärkeää päästä testaamaan jo alkuvaiheessa keväällä 2015.

Kun perinteisesti tuotekehitysprosessin aikana on tuotettu alkuvaiheessa karkeita käsintehtyjä prototyyppejä, 3D-tulostustekniikkaa hyödynnettäessä voidaan tilata useita malleja nopeasti jo alkuvaiheen konseptimuotoiluvaiheesta useammasta vaihtoehdosta. 3D-tulostustekniikan kehittyessä ja tulostimien ja tulostamisen hintojen putoamisen ansiosta 3D-tulostetut mallit ovat nykyisin mahdollista ottaa myös aikaisen vaiheen hahmomallien tekemiseen. Käsintyöstämiseen ei tarvitse käyttää aikaa ja vaihtoehtoja voidaan testata heti kun siirrytään kaksiulotteisesta luonnostelusta 3D-mallintamiseen tietokoneella.

Opiskelijana, ja siten vielä noviisina muotoilijana en ehkä osannut ottaa tippalaskuria suunniteltaessa teknisiä asioita yhtä hyvin huomioon kuin joku kokeneempi muotoilija, joten joiltakin iteraatiokierroksilta olisi varmastikin voitu säästyä kokeneemman muotoilijan toimesta. Toisaalta kyseessä oli opintoprojekti, jossa myös oppimisella oli tärkeä sija, ja lopputulos on ollut joka tapauksessa onnistunut käyttäjäpalautteen perusteella.

Konseptimuotoilu 3D-tulosteita työkaluna käyttäen antoi paljon oppia tämän tyylliseen tuotekehitykseen, ja seuraavassa kappaleessa esitänkin tippalaskurin muotoiluprosessin perusteella kehittämäni 3D-tulostusta hyödyntävän muotoiluprosessin.

5.3 Systemitason suunnittelu

Systemitason suunnitteluvaihe sisältää tuotteen arkkitehtuurin määrittelyn, tuotteen osajärjestelmät ja komponentit, avainkomponenttien alustavan suunnittelu, sekä yksityiskohtaisen suunnittelun vastuun jakamisen sekä sisäisille, että ulkoisille resursseille. Tuotantojärjestelmän ja lopullisen kokoonpanon alustavat suunnitelmat määritellään myös yleensä tässä tuotekehitysvaiheessa. Systemitason suunnitteluvaiheen tuloksena syntyy yleensä tuotteen geometrinen asettelu, eritelmä tuotteen osajärjestelmistä, ja alustava prosessikaavio lopullista kokoonpanoprosessia varten. (Ulrich, Eppinger & Yang 2020, 15).

Konseptivaiheen jälkeen tippalaskurin tuotekehitys jatkui tuotekehitysprosessin mukaisesti systeemitason suunnitteluna helmikuussa 2016, kun yritys sai rahoituksen järjestettyä tippalaskurin tuotantovalmiiksi saattamisen. Tuotteen toimintaan liittyvää teknologiaa oli jo aiemmin testattu alustavasti ja mittauksia tehty. Tässä vaiheessa tuotekehitykseen astuivat mukaan mekaniikkasuunnittelija ja HW-suunnittelijat. Nämä suunnittelupalvelut ostettiin alihankintana ulkopuoliselta yritykseltä.

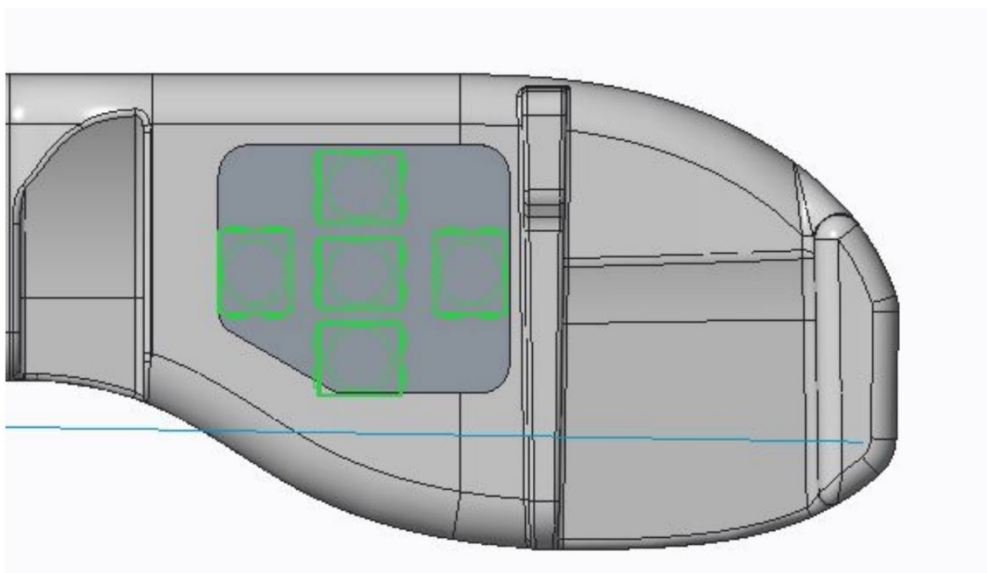
Tippalaskurin suunnittelun tässä vaiheessa pystyin konsultoimaan käyttämäämme mekaniikkasuunnittelijaa tuotteen valmistettavuuteen liittyvissä kysymyksissä. Konseptivaiheen malliin jouduttiin tekemään pieniä muutoksia vastapäästöjen takia. Myös materiaalipaksuuksia jouduttiin muokkaamaan tasaisemmiksi, jotta ruiskuvalu saataisiin syötettyä muotteihin mahdollisimman ongelmattomasti. 3D-tulostamisen mahdollistamat muodot eivät kaikilta osin olleetkaan ongelmattomia. Tämä vaihe oli itselleni hyvä koulu ruiskuvalamisen vaatimuksista; päästöjen suuruuksista ja materiaalivahvuuksista, ynnä muista yksityiskohdista. 3D-tulostaminen mahdollistaa lähes rajattomasti erilaisten muotojen valmistuksen, toisin kuin ruiskuvalu.

3D-tulosteita tilattiin edelleen tasaiseen tahtiin sitä mukaa kun tuotteeseen tehtiin muutoksia ja niitä haluttiin arvioida. Tässä vaiheessa testattiin erityisesti tuotteen kiinnitysmekanismien ja mittaustekniikan toimivuutta.



Valmis muoto ja kiinnitysratkaisu

3D-tulosteiden avulla testattiin käytännössä mikä on paras kohta mittauksessa käytettävien ledin sijoittelulle laitteen yläosan ”sarviin”. 3D-tulosteilla oli helppoa testata eri aukkovaihtoehtoja, miten laite pystyy mittamaan tippoja eri merkkisistä infuusioletkustoista.



Mittaledien sijoittelu laitteessa



Prototyypä, mittausalue mustan "ikkunan takana"

5.4 Yksityiskohtainen suunnittelu

Yksityiskohtainen suunnitteluvaihe käsittää tuotteen osien geometrian, materiaalien ja toleranssien erittelyn, sekä toimittajilta ostettavien vakio-osien tunnistamisen. Työkalut suunnitellaan jokaiselle valmistettavalle osalle, ja suunnitelma prosessista laaditaan. Tässä vaiheessa tuloksena on tuotteen ohjausdokumentaatio; piirustukset tai tietokonetiedostot, joissa kuvataan kunkin osan geometria ja sen valmistustyökalut, ostettujen osien eritelvät, tuotannon toimitusketju, sekä prosessivalmistelut tuotteen valmistamiseksi ja kokoonpanemiseksi. Kolme tärkeintä huomioon otettavaa seikkaa ovat materiaalien valinta, tuotantokustannukset, sekä kestävä suorituskyky tuotteelle. (Ulrich, Eppinger & Yang 2020, 15).

Lääkinnällisen laitteen suunnittelussa on organisaation noudatettava laatujärjestelmää, ja tuotekehitysprosessiin sisältyy tarkka tekninen dokumentaatio jokaisesta suunnitteluvaiheesta. Tekninen dokumentaatio sisältää kuvauksen laitteesta, valmistajat toimittamat tiedot, suunnittelu- ja valmistustiedot, yleiset turvallisuus- ja suorituskykyvaatimukset, tuotteen verifiointi ja validointi hyöty-riskianalyysi ja riskienhallinta, tekninen asiakirja markkinoiden jälkeisestä valvonnasta. (Smirthwaite).

Ohjenuorana lääkinnällisen laitteen dokumentaatiossa pätee sanonta, ”mikä ei ole dokumentoitu, sitä ei ole olemassa”. Vaikka jokaisen työvaiheen ja yksityiskohtien dokumentointi on työlästä, ohjaa se samalla koko ajan laadukkaaseen suunnitteluun, ja varmistaa että kaikki tarvittava tieto tuotteesta ja sen suunnitelmista on koko ajan saatavilla.

Tippalaskurin käytettävyyttä pystyttiin arvioimaan kokonaisvaltaisesti, kun toimivat prototyypit teetettiin. Tähän asti tippalaskurin ”mock up” mallilla pystyttiin arvioimaan lähinnä tuotteen designia ja sen kiinnittämistä tippakammioon, sekä painikkeiden sijoittelua ja puhdistamista. Kosketusnäytön graafisen käyttöliittymän luonnos oli toiminut pelkästään kännykässä android-sovelluksella ja tippojen mittauksia tehtiin ulkoisilla mittausantureilla.

Tässä tuotekehitysvaiheessa 3D-tulosteita hyödynnettiin mitoitusten hienosäätöön, lähinnä laitteen sisäpuolelta, jotta komponentit istuisivat mahdollisimman hyvin laitteeseen, sekä edelleen kiinnitysmekanismiin hienosäätöön. 3D-tulosteita arvioimalla ja testaamalla pystyttiin tekemään tarkempi tekninen dokumentaatio laitteesta yksityiskohtineen, sekä sen valmistuksesta.

5.5 Testaus ja viimeistely

Tuotteen testaus- ja viimeistelyvaiheessa arvioidaan valmistustarkoituksiin tarkoitettut osat, joilla on samat geometriset materiaaliominaisuudet kuin tuotantoversiossa, mutta joita ei välttämättä valmisteta vielä tuotantoprosesseilla. Näitä prototyyppejä kutsutaan alpha prototyypeiksi. (Ulrich, Eppinger & Yang 2020, 15).

Muovituotteiden valmistuksessa tähän vaiheeseen muovista tulostetut mitoituksiltaan tarkat 3D-tulostetut osat soveltuvat hyvin, osien viemistä massatuotantoon.

Testaus- ja viimeistelyvaiheessa 3D-tulostesta kasattuja prototyyppejä käytettiin loppuvaiheen käytettävyydestä, sekä muun muassa pudotuskestävyydestä arviointiin, ennen lopullisten mallien käyttöä.

Vaikka testaus- ja viimeistelyvaiheessa 3D-tulosteita käytettiin lähinnä hienosäätöön, koska suuret linjat olivat jo valmiit, niiden käyttöä tässäkin tuotekehitysvaiheessa ei voi väheksyä. Oikeastaan jokainen ulkonäöllinen ja varsinkin toiminnallinen suunnitelma tuotteesta olisi hyvä arvioida fyysisen prototyypin avulla, ja tähän 3D-

tulostaminen antaa loistavat mahdollisuudet. Tämä varmistaa paremman käsityksen saamisen sekä mitoituksesta, jotta tuote toimii varmasti niin kuin pitääkin, että ulkonäöstä ja mittasuhteista.

Tässä vaiheessa toiminnallista tuotetta testattiin simuloiden laitteen todellista kokonaiskäyttöä loppukäyttäjillä erilaisissa testaus- ja simulaatioympäristöissä. Käytettävyydestejä varten käyttäjille annettiin tehtäviä perustuen käyttökkenaarioihin.

Kun 3D-tulosteiden avulla oli arvioitu, että tuote on mitoituksiltaan ja komponenteiltaan valmis, tehtiin seuraava prototyypierä silikonimuoteilla valamalla. Tämän jälkeen tuotantosuunnitelmat- ja piirrokset olivat valmiit, ja osista teetettiin ruiskuvalumuotit massatuotantoa varten.

Myöhemmät beeta prototyypit tehdään yleensä osista, jotka on valmistettu suunnitelluilla tuotantoprosesseilla, mutta ei ehkä ole koottu lopullisilla kokoonpanoprosesseilla. Beeta prototyyppejä arvioidaan laajasti sekä yrityksessä sisäisesti, ja asiakkaat testaavat myös tuotetta tyypillisesti omassa ympäristössään. Beeta prototyyppien tavoitteena yleensä on vastata tuotteen suorituskykyä ja luotettavuutta koskeviin kysymyksiin, lopullisen tuotteen mahdollisten teknisten muutosten tunnistamiseksi. (Ulrich, Eppinger & Yang 2020, 15).

Ensimmäinen toimiva prototyyppi kosketusnäyttöineen ja mittausledeineen tilattiin kesäkuussa 2016. Tähän asti tuotteen ominaisuuksia oli arvioitu lähinnä omina yksiköinä. Pikamalleja tilattiin Kiinasta silikonimuottivaluina 15 kappaletta. Samanlaiset muovikuoret teetettiin myös 3D-tulosteena ennen isompaa pikamallierää. Mielestäni silikonimuoteilla tehdyt mallit eivät juurikaan eronneet laadultaan 3D-tulostetuista. Pinnan muoto oli ehkä hieman sileämpi, mutta muovimateriaali oli samantyylistä kuin monissa 3D-tulosteissa on.

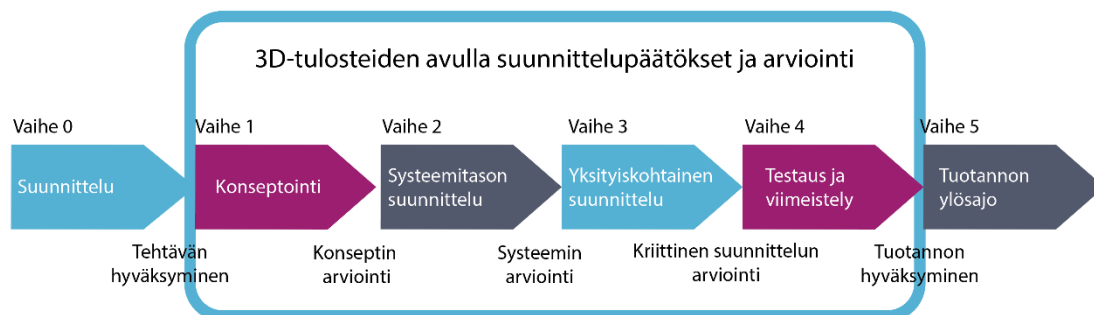
Infuusiomonitorin tuotekehitysprosessi alpha ja beeta prototyyppien osalta testaus- ja viimeistelyvaiheessa noudatti Ulrich & Eppingerin tuotekehitysprosessia. Lääkinnällistä laitetta ei ole mahdollista testata oikeassa käyttöympäristössä ennen CE-merkin saamista tuotteelle. Laitteelle kuitenkin tulee suorittaa kliiniset testit oikeassa käyttöympäristössä, tuotteen turvallisuuden takaamiseksi, kun lupa haetaan ensin viranomaistaholta. Infuusiomonitoria testattiin laajasti loppukäyttäjillä simuloituissa käyttötilanteissa, jotta tuotteen helppokäyttöisyys, toimintakyky ja turvallisuus varmistettiin. Käyttöä testattiin tässä vaiheessa myös koe-eläin

laboratoriossa osana lampaiden leikkaustoimintaa. Saimme olla mukana seuraamassa laitteen toimintaa näissä tilanteissa, ja saimme arvokasta tietoa tuotteen toimivuudesta.

5.6 Infuusiomonitorin 3D-tulosteita hyödyntävä tuotekehitysprosessi

Kehitin infuusiomonitorin tuotekehitysprosessin, ja Ulrich & Eppingerin tuotekehitysprosessin pohjalta 3D-tulosteita hyödyntävän tuotekehitysprosessin, joka soveltunee hyvin ainakin infuusiomonitorin kaltaisten fyysiseltä kooltaan pienehköjen muovituotteiden suunnittelun avuksi. Tekemieni havaintojen perusteella, jokainen suunnitteluratkaisu olisi hyvä arvioida soveltuvien fyysisten prototyyppien avulla, parhaan mahdollisen tuloksen varmistamiseksi. Erityisesti toiminnallisuuden ja mitoituksen näkökulmasta

3D-tulosteiden avulla tuotteen ominaisuuksia voidaan evaluoida luotettavasti sekä suunnittelutiimin kesken, että osana käytettävyyden arviointia loppukäyttäjillä tuotekehitysprosessin eri vaiheissa. 3D-tulosteita hyödyntävä tuotekehitysprosessi mukailee vaiheittain Ulrich & Eppingerin tuotekehitysprosessia, mutta sen aikana tuotetaan systemaattisesti soveltuvien osien 3D-tulosteita, joita käytetään tuotteen testaamiseen ja arviointiin.



3D-tulostusta hyödyntävä tuotekehitysprosessi

6 Tutkimustulokset/päätelmät

6.1 Tuotteen toimivuus

Tuotteen toimivuuden arvioinnissa, kuten virtanapin sijoittelussa, tai kiinnitysmekanismin toiminnallisuuden arvioinnissa 3D-tulosteet antoivat konkreettisen tavan arvioida sekä käyttäjien, että suunnittelutiimin kesken erilaisia vaihtoehtoja. Kiinnitysmekanismin mekaaninen toimivuus esimerkiksi oli helppo testata käytännössä, tilaamalla pikamallit 3D-tulosteina eri vaihtoehdoista.

Kokemukseni mukaan kiinnitysmekanismin suunnittelu olisi ollut erittäin haastavaa ilman 3D-tulosteita, joilla pystyttiin testaamaan osien mekaanista toimivuutta, ja kiinnittymistä infuusioletkuston tippakammioon.

Tuotteen toimivuutta kokonaisuudessaan pystyttiin testaamaan myös myöhemmässä vaiheessa, jolloin kaikki komponentit saatiin prototyypin sisään, ja pystyttiin varmistamaan, että mitoitus on varmasti hyvä ja laite toimii kuten pitääkin.

6.2 Parempi käsitys tuotteesta

Mallien avulla oli myös sujuvaa kommunikoida yrityksen sisäisesti, mihin suuntaan suunnittelussa seuraavaksi edettäisiin. Yritys jolle tuotetta suunnittelin, on pieni startup -yritys, jonka taloudelliset resurssit olivat rajalliset.

3D-tulosteiden avulla tuotteen kehittämiseen tuotantovalmiuteen ja tuotantoon löydettiin rahoitus. Käyttäjien kanssa pystyttiin kommunikoimaan ja keräämään käyttäjäpalautetta jo varhaisessa vaiheessa. Lisäksi oli mahdollista muodostaa asiakaskontakteja, vaikka itse tuote ei vielä ollut valmis. Matkan varrella huomasin, että ilman kohtalaisen edullisia fyysisiä prototyyppisiä tuotekehitys ja yrityksen toiminta olisi ollut huomattavasti haastavampaa ja kalliimpaa. Pääsin opiskelijana mielenkiintoiselle näköalapaikalle ja olen saanut käydä läpi ja työskennellä koko tuotekehitysprojektin läpi ideasta tuotantoon asti.

Muotoiluprojektin aikana huomasin, että ilman 3D-tulostamisen hyödyntämistä tämän kaltaisen tuotteen suunnittelussa olisi tehnyt suunnittelutyöstä erittäin haastavaa. 3D-tulostaminen on erittäin kätevä, nopea ja tehokas keino nähdä ja arvioida jo aikaisessa vaiheessa fyysisiä suunnitteluratkaisuja.

6.3 Tuotteen rakenne

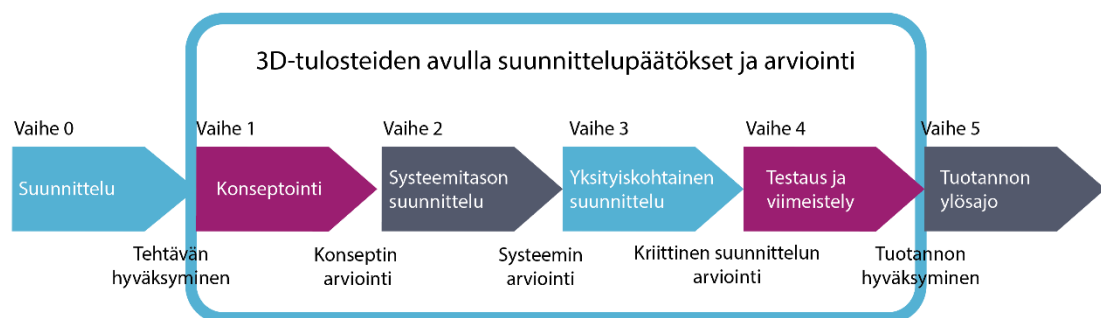
3D-tulosteet auttoivat minua muotoilijana arvioimaan tuotetta erityisesti käytettävyyden ja estetiikan näkökulmasta. 3D-tulosteet auttoivat minua työssäni myös silloin, kun käyttäjäpalautetta kerättiin tuotteen loppukäyttäjiltä, eli sairaanhoitajilta. Tippalaskurin suunnittelutyö olisi ollut erittäin haastavaa, elleimme olisi saaneet tilattua kohtuuhintaisia tulosteita pitkin tuotekehitysprojektia. Esimerkiksi kiinnitysmekanismin suunnittelu olisi ollut käytännössä mahdotonta toteuttaa toimivaksi pelkästään 3D-mallintamalla, ja käsin piirtämällä, koska mitoitus tuli tehdä millin kymmenyksien tarkkuudella.

Tuotteen rakennetta arvioitiin myös komponenttien sijoittelun osalta, ja 3D-tulosteita hyödynnettiin siihen asti, kunnes tuotteen design oli valmis ruiskuvalumuottien valmistusta varten.

6.4 3D-tulosteita hyödyntävä tuotekehitysprosessi

3D-tulosteet mahdollistivat Monidor Oy:ssä sen, että tippalaskurin tuotekehityksen aikana voitiin tehdä monia nopeita prototypointikierrroksia ja iteraatiokierrroksia kohtalaisen nopeassa aikataulussa, jolloin tuotteen toimivuutta pystyttiin arvioimaan nopeasti ja tekemään seuraavat suunnitteluratkaisut ja -ehdotukset näiden perusteella.

Hyödyntäminen eri vaiheissa eri tarkoituksiin varmisti sen, että tuote tuli onnistuneeksi suunnitelluksi. Mitä nopeammin 3D-tulosteita saadaan tuotettua ja arvioitua, sitä nopeammin voidaan tehdä suunnittelussa iteraatiokierrroksia.



3D-tulostusta hyödyntävä tuotekehitysprosessi

6.5 Yhteenveto

3D-tulosteita käytettiin Monidor Oy:ssä useisiin eri tarkoituksiin. 3D-tulosteita käytettiin yrityksen sisäiseen kommunikointiin, suunnittelutiimin kesken tuotteen toiminnallisuuden, käytettävyyden ja estetiikan arviointiin. 3D-tulosteita käytettiin myös yrityksen ulkoiseen kommunikointiin osana markkinointia, rahoituksen hankintaan, asiakastapaamisiin ja käytettävyyden arviointiin loppukäyttäjillä.

Näillä kaikilla osa-alueilla 3D-tulosteet toimivat hyvänä tukena ja apuna suunnittelun ja muun toiminnan tavoitteisiin pääsemisessä. Jos 3D-tulosteita oli hyödynnetty esimerkiksi vasta systeemitason suunnittelusta lähtien, olisi esimerkiksi rahoituksen hakeminen voinut olla haastavampaa tai tuotteen muodosta voinut tulla eri kuin mikä lopulliseen tuotteeseen valittiin.

Verratessani 3D-tulosteita painottavaa infuusiomonitorin tuotekehitysprosessia Geneeriseen tuotekehitysprosessiin, havaintojeni mukaan 3D-tulosteita on hyvä käyttää suunnittelun tukena konseptointivaiheesta testaukseen ja viimeistelyyn asti. Tämän tyyppisen 3D-tulostepainotteisen tuotekehitysprosessin hyödyntäminen näyttäisi toimivan hyvin ainakin Monidrop infuusiomonitorin kaltaisen uudenlaisen lääkinnällisen laitteen suunnittelussa, sekä markkinoille viemisessä.

7 Pohdinta

3D-tulostamisen on ennustettu useissa tutkimuksissa nousevan tulevaisuuden valmistusmenetelmäksi myös massatuotannossa. Rapid Prototyping Journalissa vuonna 2012 julkaistussa artikkelissa ennustetaan, että valmistustekniset vaatimukset ovat tulevaisuudessa 3D-tulostamisen ansiosta vapaampia ja tuotteista voidaan tehdä entistä mielikuvituksellisempia ja mielenkiintoisempia. (Campbell ym. 2012, 257-258). Tämä avasi entistä suurempia vapauksia ja mahdollisuuksia myös muotoilijoille. Valmistustekniset rajoitteet eivät rajoittaisi suunnittelutyötä kuten ennen, joten muotoilija saisi vapaammat kädet konseptien suunnitteluun. Esimerkiksi ruiskupuristemuottien vaatimat päästöt eivät enää rajoita muodon antoa. Ehkä muotoilijat alkavat myös entistä herkemmin valmistaa tuotteita itse tulostamalla, koska joka tapauksessa omaavat tarvittavat taidot kolmeulotteisen muodon luomiseen.

Tippalaskuria muotoiltaessa 3D-tulostuksen muodoissa ei käytännössä ollut rajoitteita lukuun ottamatta sitä, että mallin rakenteissa ei saanut olla liian ohuita seinämiä. Kun päämääränä oli suunnitella ruiskuvalettu muovituote, oli tämä otettava huomioon koko ajan. Ruiskuvaletussa tuotteessa tulisi aina olla päästöt siten, että tuote pääsee valun jälkeen muotista ulos. Tämä aiheutti jonkin verran pohdittavaa, jotta esimerkiksi tippalaskurin kiinnitysmekanismi saatiin toimivaksi ja valmistettavaksi.

Douglas Bryden ennustaa, että tulevaisuudessa tuotteet siirtyvät internetiin myyntiin pilvipohjaisina, valmiina tilattavaksi ja valmistettavaksi asiakkaan näin halutessa. Internet pienentää yrityksen riskiä ja uusien tuotteiden määrä markkinoilla kasvaa. Tuotteen, jotka tapaavat aidon tarpeen ja esitetään hyvin päätyvät tuotantoon. Kasvavan kilpailun myötä yritysten on pystyttävä erilaistumaan ja kilpailemaan kovilla markkinoilla, joten tuotteiden suunnittelijoilta vaaditaan koko ajan enemmän luovuutta. Liiketoiminta kasvaa, mutta tuotteet tulevat helpommin kopioitaviksi, jos tuotteista tehdään sellaisia, että 3D-dataan pääsee käsiksi kuka vain. (Bryden 2014, 139).

Douglas Bryden ennustaa, että tulevaisuudessa voimme nähdä uuden teollisen läpimurron, kun tuotteita voidaan alkaa valmistaa 3D-tulostimilla suoraan valmiiksi kasattuina. Näin kokoamisvaihe ihmisvoimin jäisi kokonaan tai ainakin osittain tarpeettomaksi. Hän ennustaa myös, että koska tuotteen valmistuspaikka ei enää tulevaisuudessa olisi 3D-tulostamisen ansiosta juurikaan kustannusriippuvainen,

tuotteen valmistus siirtyy sinne missä markkinatkin ovat. (Bryden 2014, 129-130). Tämähän tarkoittaisi myös sitä, että kalliutta ja aikaa vieviä muotteja ei tarvitsisi enää valmistaa. Iterointi tuotteen kehittämisessä voisi näin ollen myös jatkua jopa valmistuksen aikana, kun kalliit muotit eivät enää määrittele tuotteiden lopullista arkkitehtuuria.

Kaikki eivät kuitenkaan usko 3D-tulostamisen siirtyvän massatuotannon pääasialliseksi tuotantovälineeksi. Hardy Meybaum ei usko tähän hypetykseen, vaan uskoo sen pysyvän pienempien tuotantomäärien teknologiana ja työkaluna prototyyppien valmistuksessa (Meybaum 2014, 134-135).

Adidas ja Nike ovat olleet suunnannäyttäjiä 3D-tulostamisen hyödyntämisessä. Adidas on saanut pienennettyä prototypointisykliään 4-6 viikosta 1-2 päivään. (Meybaum 2014, 140.). Tämän kaltainen syklin lyhentäminen on huima. Työ tehostuu, mutta toisaalta voisin kuvitella, että se on muuttanut myös suunnittelijoiden työnkuvaa aikaisempaa huomattavasti hektisemmäksi. Iteraatio tapahtuu niin nopeasti, että suunnittelijan täytyy koko ajan pystyä nopeampaan ja nopeampaan luovaan ongelmaratkaisuun.

Ilkka Kettunen mainitsee teoksessaan, että luova työ kaipaa joutilaisuutta ja rauhaa. Ideointityön pinnistäminen ja löysääminen on tehokasta, koska idea saattaa pälkähätä päähän monesti juuri silloin kun kovan yrittämisen jälkeen annetaan periksi ja pidetään tauko työskentelyssä. (Kettunen 2000, 71). 3D-tulostamisen mahdollistama nopea iterointi asettaa siis myös uhkakuvan liian nopeasta ongelman ratkaisun vaatimisesta, jolloin suunnittelijat joutuisivat ehkä liian suuren paineen alle nopeiden aikataulujen vaatimuksesta. Toisaalta jokaisen ihmisen on hyvä oppia tunnistamaan omat rajansa, ja tapansa toimia luovasti ja tehokkaasti. Ideaalitulanteessa myös työnantaja antaa työntekijälle vapauden tehdä työtä luovasti, omat vahvuutensa ja rajansa tunnistaen.

3D-tulostamista voidaan käyttää myös erilaisten koneen osien ja työkalujen valmistukseen kuten edellä listassa lueteltiin. VTT ja Nurmi Cylinders ovat kehittäneet yhdessä uuden 3D-tulostetun metallisen venttiililohkon, joka on 66 % kevyempi ja pienempi kuin aiemmin käytetty. 3D-tulostostettaessa ei tarvita ylimääräisiä porauksia, joten komponenttiin ei synny mahdollisia vuotokohtia. Muotoilulla saatiin aikaan parempi nesteen virtaus hydraulisen osan sisällä. Erikoistutkija Petri Laakso VTT:ltä mainitsee, että metallien 3D tulostus on vielä melko uutta, mutta kehitty

koko ajan mahdollistaa tulevaisuudessa lähes vapaan suunnittelun, koska valmistusmenetelmä ei juurikaan aseta rajoitteita osan muodoille. (VTT 2015). Jos metalliakin voi tulostaa 3D-tulostimella, voisin kuvitella, että tulevaisuudessa myös esimerkiksi ruiskuvalumuotteja voitaisiin valmistaa edullisemmin ja nopeammin 3D-tulostustekniikkaa käyttäen massatuotantoa varten.

Tuotteiden valmistus 3D-tulostamalla on jo nyt kustannustehokasta, jos tuotteita tuotetaan 1-1000 kappaletta. Tulevaisuudessa tulostustekniikka kehittyy edelleen halvemmaksi ja nopeammaksi tuotantotavaksi, yritysten työvoimakustannukset pienenevät ja uusia startup -yrityksiä tulee markkinoille pienempien riskien houkuttelemana. (Bryden 2014, 130-131).

3D-tulostuksessa ei tarvita työvälineinvestointeja, jolloin jokainen osa voi olla erilainen. Kustomointi on mahdollista, tuotteen geometria voi olla lähes vapaa, sekä materiaalihukka on pieni. (Salmi 2013). Näiden 3D-tulostustekniikan luomien mahdollisuuksien valossa 3D-tulostamisen tulevaisuus näyttäisi erittäin valoisalta. 3D-tulostus tulee luultavasti pysymään varmasti pitkään enimmäkseen prototyyppivälineenä, ja pienten sarjojen valmistusmenetelmänä, mutta aika näyttää siirtyäkö myös massatuotannossa joskus 3D-tulostamiseen. Tai vielä pidemmälle ajateltuna, olisiko 3D-tulostin jonakin päivä yhtä yleinen laite kuin esimerkiksi kännykkä tänä päivänä.

Luin artikkelin, jossa kerrottiin, että MIT (Massachusetts Institute of Technology) on juuri kehittänyt edullisen, mutta korkea resoluutioisen 3D-tulostimen, joka pystyy tulostamaan jopa kymmentä materiaalia kerralla. Multifabin hinta on alle 7000 dollaria ja sillä pystyy tulostamaan jopa piirilevyjä. Tulostin on tarkka, mutta vielä melko hidas. (Sitthi-Amorn ym.). Ainakin toimivien prototyyppien valmistukseen tällainen laite voisi olla loistava, jopa pienille ja keskisuurille yrityksille, joissa suunnitellaan elektronisia tuotteita.

Ilman 3D-tulosteita, tuotekehitysprosessin läpikäyminen tuntuu itsestäni näin jälkikäteen ajateltuna mahdottomalta. En voi kuvitella miten infuusiomonitorin kaltaisen rakenteeltaan melko monimutkaisen tuotteen voisi suunnitella onnistuneesti ilman 3D-tulostamisen tuomia mahdollisuuksia. Luulen, että ainakin tuotteesta olisi tullut erilainen sekä ulkonäöltä, että myös kiinnitysmekanismitaan, kuin mitä se nyt

on. Nopean prototypoinnin myötä katse tuntuu kuitenkin kohdistuvan 3D-tulosteiden tulevaisuudessa lopputuotteiden valmistukseen.

Infuusiomonitorin tuotekehitysprosessin aikana on saanut hyvän oppikoulun 3D-tulostamisen mahdollisuuksista ja hyödyistä tuotekehityksessä ja toisaalta myös massavalmistuksen vaatimuksista suunnittelutyöhön. Muotoilijana toivoisi, että vain taivas olisi rajana, mutta todellisuus on ainakin vielä se, että 3D-tulosteiden laatu ja tuotantonopeus eivät ole lähelläkään ruiskuvalua. Onneksi tulevaisuus voi olla toinen. Se vaikuttaisi mielestäni merkittävästi muovituotteiden muotokieleen.

Lähteet

3D-Hubs. Luettu 8.3.2021. Haettu osoitteesta: <https://www.3dhubs.com/knowledge-base/introduction-binder-jetting-3d-printing/>

3D Printing Technologies Explained. Luettu 1.3.2021. Haettu osoitteesta: <https://www.shapeways.com/blog/archives/1215-3d-printing-technologies-explained.html>

3D Printing Industries 1, the free beginner`s guide. Luettu 2.3.2021. Haettu osoitteesta: <https://3dprintingindustry.com/3d-printing-basics-free-beginners-guide#03-technology>

3D Printing Industries 2, the free beginner`s guide. Luettu 2.3.2021. Haettu osoitteesta <https://3dprintingindustry.com/3d-printing-basics-free-beginners-guide#05-materials>

Berman B. (2012). *3-D printing: The new industrial revolution*. Business Horizons (2012) 55, 155 - 162.

Bryden D. (2014). *CAD and Rapid Prototyping for Product design*. Laurence King Publishing.

Smirthwaite Amie, BSI Notified Body. Technical Documentation Requirement under MDR (including requirements for legacy files) Luettu 22.3.2020. Haettu osoitteesta: <https://www.bsigroup.com/globalassets/meddev/localfiles/en-gb/webinars/bsi-md-tech-doc-mdr-uk-en.pdf>

Campbell I., Bourell D. & Gibson I. (2012). *Additive manufacturing: rapid manufacturing comes of age*. Rapid Prototyping Journal. Vol. 18 Iss. 4 s. 255 – 258.

Garg. A., Tai M. & Savalani M. (2014). *State-of-the-art in empirical modelling of rapid prototyping processes*. Rapid Prototyping Journal, Vol. 20 Iss 2 s. 164 - 178

Grenda E. (1999). *Printing the future: The 3D printing and rapid prototyping source book*. Castle Island Co.

Hallgrimson B. 2020. *Prototyping and modelmaking for product design*. Laurence King Publishing. Second edition.

Hirsjärvi S. & Hurme H. (2011). *Tutkimushaastattelu: Teemahaastattelun teoria ja käytäntö*. Gaudeamus Helsinki University Press.

Kahn B. Kenneth. (2015). *Product Planning Essentials*. Taylor & Francis Group. 2. Edition.

Kettunen I. (2000). *Muodon Palapeli*. Lapin yliopisto. Taiteiden tiedekunta.

Linnavuori Kimmo. (2015). *Uusi lääkinnällisten laitteiden EU-asetus*. Luettu 11.3.2021. Haettu osoitteesta: https://www.fimea.fi/documents/160140/765540/28338_Linnavuori_ATMP_2015-02-04_2_.pdf

Lipson H. & Kurman M. (2013) *Fabricated: The new world of 3D printing*. John Wiley & Sons Inc.

Monidor 1. (Yrityksen kotisivut). Luettu 10.3.2021. Haettu osoitteesta:
<https://monidor.com/company/monidor/>

Monidor 2. (Yrityksen kotisivut). Luettu 10.3.2021. Haettu osoitteesta:
<https://monidor.com/company/certificates/>

Rolin Kristina, Kakkuri.Knuuttila Marja-Liisa & Henttonen Elina. (2006). *Soveltava yhteiskuntatiede ja filosofia*. Gaudeamus Kirja Oy.

Sitthi-Amorn P., Ramos J., Wang Y., Kwan J., Lan J., Wang W. & Wojciech M. (ei vuosilukua). *MultiFab: A Machine Vision Assisted Platform for Multi-material 3D Printing*. MIT CSAIL, Chulalongkorn University, Tsinghua University. Luettu 16.11.2015. Haettu osoitteesta: <http://cfg.mit.edu/sites/cfg.mit.edu/files/paper.pdf>

Prinz. F. ym. (1997). *JTEC/WTEC Panel on RAPID PROTOTYPING IN EUROPE AND JAPAN. FINAL REPORT*. Volume 1. Analytical chapters.

Rodgers P. & Milton A. (2011). *Product Design*. Laurence King Publishing.

Salmi M. (2013). 3D-tulostuksen mahdollisuuksia. Aalto University BIT Research Centre. Artikkele. Luettu 15.11.2015. Haettu osoitteesta:
http://www.oamk.fi/cdn/fileuploads/3d_temaseminaari_salmi_280213.pdf

Shapeways 1. Luettu 2.3.2021. Haettu osoitteesta:
<https://www.shapeways.com/blog/archives/1215-3d-printing-technologies-explained.html>

Shapeways 2. Luettu 8.3.2021. Haettu osoitteesta:
<https://www.shapeways.com/materials/versatile-plastic/>

Tuomi J. & Sarajärvi A. (2009). *Laadullinen tutkimus ja sisällönanalyysi*.

Ulrich K.T., Eppinger S.D. & Yang M.C. (2020). *Product Design and Development*. Mc Graw-Hill Education.

Valvira. (2019). *Lääkinnällisten laitteiden valvonta siirtyy Varvirasta Fimeaan*. Luettu 17.3.2021. Haettu osoitteesta: <https://www.valvira.fi/-/laakinnallisten-laitteiden-valvonta-siirtyy-valvirasta-fimeaan>

VTT Uutiset. (2015). 3D-tulostuksella suorituskykyisempiä ja kevyitä metalliosia kustannustehokkaasti. Luettu 15.11.2015. Haettu osoitteesta:
<http://www.vtt.fi/medialle/uutiset/3d-tulostuksella-suorituskykyisempi%C3%A4-ja-kevyit%C3%A4-metalliosia-kustannustehokkaasti>

Wai H.W. (2014). *RP in art and conceptual design*. Rapid Prototyping Journal, Vol. 7 Iss 4 s. 217 – 219