



Osaamista  
ja oivallusta  
tulevaisuuden  
tekemiseen

Ilya Gromov, Teemu Rokka

## Reisiproteesin sovitinosa:

# Vertailu 3D skannauksen, tulostuksen ja perinteisten valmistusmenetelmien välillä

---

**metropolia.fi** Metropolia Ammattikorkeakoulu

Apuvälinetekniikka

SXA17S1

Opinnäytetyö

Päivämäärä 11.11.2020



Tekijä(t) Otsikko	Ilya Gromov, Teemu Rokka Reisiproteesin sovitinosa: Vertailu 3D-skannauksen, -tulostuksen ja perinteisten valmistusmenetelmien välillä
Sivumäärä Aika	21 sivua + 3 liitettä 11.11.2020
Tutkinto	Apuvälinetekniikka
Tutkinto-ohjelma	Apuvälinetekniikan tutkinto-ohjelma
Suuntautumisvaihtoehto	Apuvälinetekniikka
Ohjaaja(t)	Yliopettaja Pekka Paalasmaa Lehtori Tomi Nurminen
<p>3D-tulostus on ollut monella eri alalla keskustelunaiheena. Sen tuomat hyödyt ja edut ovat olleet vahvasti esillä myös apuvälinetekniikkaan liittyvissä artikkeleissa ja tutkimuksissa. Selvitimme, miten 3D-teknologia toimii ja miten se varsinaisesti eroaa perinteisistä käytännöistä sovittosien valmistuksessa. Lisäksi tarkasteltiin, minkälaisia hyötyjä 3D-teknologialla on verrattuna perinteisiin valmistustapoihin.</p> <p>Työssä valmistettiin ICS-malliset sovittoset perinteisellä menetelmällä ja 3D-teknologialla. Tarkoituksena oli selvittää molempien sovittosien eroja työ- sekä materiaalikulujen osalta. Työn tuloksia voidaan hyödyntää jatkossa apuvälineteknikoiden ja apuvälinetekniikan opiskelijoiden ammatillisessa kehittämisessä.</p> <p>Teoreettinen osuus kerättiin käyttäen hyödyksi alan kirjallisuutta sekä tieteellisiä tutkimuksia, joiden pohjalta lähdettiin tekemään varsinaista käytännön työtä. Tämä prosessin tarkoituksena oli valmistaa sekä perinteisillä menetelmillä sekä 3D-tulostuksella.</p> <p>Tämänhetkisillä osaamisilla ja ajallisilla resursseilla emme pystyneet toteuttamaan täydellistä vertailua. Tulokset antavat viitettä siitä, että 3D-teknologia on nopeampi, edullisempi valmistusmenetelmä verrattuna perinteisiin menetelmiin. Perinteinen valmistusmenetelmä on tosin varmempi verrattuna 3D-tulostukseen halutun lopputuloksen kannalta vielä tällä hetkellä.</p>	
Avainsanat	Reisiproteesi, sovitinosa, 3D-tulostus, 3D-valmistus

Author(s) Title	Ilya Gromov, Teemu Rokka Prosthetic knee socket: Comparison between 3D printing and traditional manufacturing
Number of Pages Date	21 pages + 3 appendices 11 of November 2020
Degree	Bachelor of Health Care
Degree Programme	Prosthetics and Orthotics
Specialisation option	Prosthetics and Orthotics
Instructor(s)	Pekka Paalasmaa, Principal Lecturer Tomi Nurminen, Lecturer
<p>3D-printing has been a widely discussed topic. The beneficial aspects of it have been also brought up in prosthetic and orthotics related articles and research. We were interested in understanding how 3D-technology works and how it differentiates from traditional production. We also inspected what benefits 3D-technology has compared to traditional methods.</p> <p>We produced ICS-sockets with traditional and 3D printing methods. The reason was to evaluate both the benefits in work hours and materials. This information could prove useful for CPO's and CPO students professional training.</p> <p>Theoretical information was gathered using literature from the profession aswell as research done in the field. From this theoretical base was the socket manufacturing made, with both traditional methods and 3D-printing.</p> <p>Due to our current understanding and time related resources we were not able to produce a complete comparative study. Results suggest that 3D technology to be faster and more cost effective compared to traditional. Traditional methods however show to be more reliable for desired results.</p>	
Keywords	Prosthetic socket, 3D printing, Additive Manufacturing

## Sisällys

1	Johdanto	1
2	Opinnäytetyön tavoitteet	2
3	Sovitinosan toiminnan periaatteet	4
4	Perinteisen sovitinosan valmistusmenetelmät	6
5	3D-teknologia ja sovitinosan valmistus	7
5.1	3D-teknologia	7
5.2	3D-tulostus materiaalit	8
5.3	Sovitinosan valmistuksen menetelmät	9
6	Sovitinosien vertailu ja suunnittelu	11
7	Tulokset	14
7.1	Perinteinen diagnostiikka-sovitinosa	14
7.2	3D -diagnostiikka-sovitinosa	15
7.3	Sovitinosien vertailu	18
8	Pohdinta	20
	Lähteet	22

## Liitteet

Liite 1. Sovitinosalomake muovi

Liite 2. Sovitinosalomake 3D

Liite 3. Sanasto

## 1 Johdanto

Reisiproteesin valmistaminen on merkittävä osa apuvälineteknikoiden työtehtäviä, samoin proteesien sovitinosat. Uusien työmenetelmien ja tekniikan mahdollisuuksien vuoksi myös näiden valmistus on kokenut muutoksia vuosien varrella. Tämän opinnäytetyön tarkoitus on selvittää mitä eroja moderneilla 3D-tulostuksen menetelmillä ja -välineillä on verrattuna perinteisempiin kipsin ja muovin työstömenetelmiin.

Työn tarkoituksena on valmistaa reisisovitinosia perinteisellä menetelmällä ja 3D-tulostusteknologialla ja vertailla näiden valmistusprosessin aikana ilmeneviä eroja. Työn tuloksia voidaan hyödyntää jatkossa apuvälineteknikoiden ja apuvälinetekniikan opiskelijoiden ammatillisessa kehittämisessä. Työssä vertaillaan 3D-teknologialla ja perinteisin menetelmin valmistetun reisiproteesin sovitinosan eroja valmistusvaiheissa; ajallisten sekä kustannus erojen avulla.

3D-tulostus on ollut monella eri alalla keskustelunaiheena. Sen tuomat hyödyt ja edut ovat olleet vahvasti esillä myös apuvälinetekniikan artikkeleissa ja tutkimuksissa. Keskusteluissa on tuotu esille teknologian nopea kehitys, joka mahdollistaa pajatyöskentely tuntien vähenemisen sekä teknologian tuomat uudistukset työtavoissa sekä laitteissa.

3D-tulostuksessa on tapahtunut paljon kehitystä yksilöllisessä protetiikassa, lääketieteessä, lääkevalmisteiden kehittämisessä ihmisten elinten ja kudosten tulostamisessa. 3D-tulostimet kotikäyttöön ovat edullisia, helposti saatavissa ja monet tulostinmallit ovat saatavissa internetistä. Viimeisen viiden vuoden aikana kehitys terveydenhuoltoon tarkoitettussa muovitulosteissa on osoittanut, että teknologian vaikutus ei ole enää rajoittunut amatöörien ja harrastelijoiden valmistamiin malleihin ja sillä on valtava potentiaali lääketieteen teknologiasoveltamisessa. (Mills 2015.)

## 2 Opinnäytetyön tavoitteet

Tarkoituksena on tuottaa reisiproteesin diagnostiikka-sovitinosa 3D-tulosteena ja tarkastella miten kokonaisprosessi eroaa perinteisistä menettelytavoista. Tavoitteena on selkeyttää 3D-tulostuksen eroa perinteisiin menetelmiin ja selvittää mahdolliset hyvät ja huonot puolet molemmista keskenään vertaillen.

3D-tulostus on kehittyvä ala ja tämän mahdollisuudet tuotteistamiseen kehittyvät koko ajan. Aikaisempia tutkimuksia teknologian käytöstä tiettyjen tuotteiden osalta on jo tehty. Työelämän kannalta mahdolliset uusien tuotteiden lanseeraus tai näiden kehitystyö ovat tietenkin tärkeitä, mutta 3D-tulostus mahdollistaa edullisen tuotteiden valmistuksen laajasti eri yrityksille.

Tarkoituksena on myös selvittää, onko 3D-tulostuksella tehdyt tuotteet edullisempia valmistaa, jos vertailukohteina ovat materiaali- sekä työkulut verrattuna perinteisesti valmistettuihin tuotteisiin.

Aikaisemmassa tutkimuksessa Day & Riley 2018 päätyivät tulokseen, jossa 3D-tulostetut esineet olivat noin puolet halvempia kuin laminoidut tuotteet. Tutkimuksen mukaan 3D-tulostetut tuotteet olivat 56 prosenttia halvempia kuin laminoidut tuotteet. Tämä tietokoneavusteinen suunnitelma ja 3D-tulostus osoittautuivat olemaan tehokas tapa suunnitella, testata ja valmistaa yksilöllinen apuväline. Kyseisen tutkimuksen materiaalihinnat saatiin paikallisilta tuottajilta saatujen tietojen perusteella. Tulostushinnat laskettiin kertomalla tulostusaika tuntiin, jolla korvattiin sähkön kulutus ja tulostimen käyttö. Tulostusaika vaihteli 5,25 — 11,5 tuntiin riippuen tulosteen muotoilusta ja orientaatiosta tulostimeen nähden. Tutkimuksessa myös arvioitiin työn hintaa käyttäen paikallisia palkkaustaulukoita. (Day, Riley 2018.)

Uuden tekniikan käyttöönotto ei ole itsestään selvää, vaan siihen opettelu, tarvittavien tulostimien hankinta tai lainaus, tulostuslaadun valvonta ja monet muut seikat tekevät perinteisistä menetelmistä usein houkuttelevamman ja perustellun valinnan. Tämä perinteinen työskentelytapa korostuu erityisesti kokeneiden apuvälineteknikoiden keskuudessa, koska heille tämä työskentelytapa on luontevampaa eikä vaadi uuden opettelua.

Alaraajaproteesien kaupallisesti saatavien komponenttien ja kiinnitystekniikoiden moninaisuus on kasvanut tasaisesti viime vuosina, jolloin klinikoilla on myös enemmän vaihtoehtoja soveltaa näitä. (Smith, Michael, Bowker, 2004, 554.)

### 3 Sovitinosan toiminnan periaatteet

Yleisimmin käytettyjä reisisovitinosia ovat quadrilateraaliset ja ICS (Ischial containment socket). Molempia sovitinosia on käytössä maailmalla ja Suomessa. Quadrilateraalinen sovitinosa oli suuremmissä käytössä vielä 90-luvun lopulla, kunnes tämän osittain syrjäytti ICS-malliset sovitinosat. Näistä kahdesta sovitinosasta on myös monia erilaisia hybridimalleja, esimerkkeinä kapea Medio Lateral (ML), Marlo Anatomical Socket (MAS). (Paternò, Ibrahim, Gruppioni, Mencias, Ricotti. 2018.) Hybridimalleissa käytetään hyödyksi ICS ja quadrilateraalisovitinosien ominaisuuksia, riippuen asiakkaan anatomiasta. Proteesimestari ja asiakas yhdessä sopivat, mitä ominaisuuksia sovitinosaan halutaan, jonka jälkeen proteesimestari valmistaa lopullisen tuotteen.

Nykyään IC- tekniikat ovat laajasti hyväksytyjä ja niiden käyttö lisääntyy jatkuvasti. Quadrilateraalinen sovitinosa oli käytetyin sovitinosa 1960—1990 vuosina, mutta se oli vähitellen korvattu uusilla malleilla ja tekniikoilla. 1980-luvun alkupuolella alettiin kehittää innovatiiviset transfemoraalisten sovitinosien mallit, ja ne otettiin käyttöön useilla muokkauksilla. Kyseinen sovitinosamalli sai nimeksi *ischial containment socket*. Nimi *ischial containment* kertoo sovitinosan ominaisuuksista, viitaten useisiin samanlaisiin käsitteisiin sen suunnittelussa, joissa istuinluu on niin sanotusti suljettu sovitinosan sisään.

ICS sovitinosa valitaan, kun asiakas tarvitsee parempaa lantion hallintaa, vähemmän kudoksiin kohdistuvaa painetta sekä aktiivista käyttöä. Ischiumin, trochanterin ja femurin laterodistaalisten voimien uskotaan tarjoavan paljon vakaamman stabiliteetin lantion hallintaan, mikä lisää mukavuutta nivusalueella ja parantaa keskivartalon ja lantion hallintaa. (Smith & Michael & Bowker 2004, 545—548.)

Koska ICS sovitinosa pitää sisällään suuremman osan tyngän pinnasta kun quadrilateraalinen sovitinosa, paine jakautuu laajemmalle alueelle ja vähentää tynkään tulevaa painetta ICS mallisessa sovitinosassa. (Smith ym. 2004, 548.) Quadrilateraalinen sovitinosa on nimensä mukaisesti neliseinäinen katsottuna ylhäältä päin. Näiden seinämien muoto riippuu amputoidun raajan muodoista ja sovitinosan käyttötarpeista. Painon siirrot quadrilateraalisessa sovitinosassa saavutetaan tukeutumalla istuinkyhmyyn ja pakaralihaksen avulla. Tämä luurakenteiden ja lihasten yhdistelmä lepää sovitinosan posteorisen seinän päällä, mikä on muotoiltu leveäksi ”istuimeksi”



samansuuntaisesti maantasoon nähden. (Schuch,1992.) Quadrilateraalinen sovitinosa aiheuttaa eniten painetta istuinluuhun ja pakaralihaksistoon, eikä anna mediaalista tukea käyttäjälle, hankaloittaen tasapainon hallintaa, sekä on kosmeettisen työstämisen osalta hankalaa valmistusvaiheessa.

Vertailun kohteeksi valitsimme ICS (Ischial containment socket)- mallisen sovitinosan, koska sen työstäminen koetaan haastavammaksi ja se sopii paremmin vertailukohteeksi.

ICS sovitinosan tavoitteita, joita tulisi ideaalisesti saavuttaa Prithramin mukaan:

1. Luonnollinen femurin adduktio sekä luonnollinen askelsykli käynnin aikana.
2. Ischia tuberositaksen, sekä ramuksen sulkeminen sovitinosaan mediaalisesti, sekä posteriorisesti, tällöin voimat jotka ovat vastuussa mediaali-lateraalista stabiliteetista syntyvät lantion luusta mediaalisesti, eikä pelkästään lantion distaalista pehmytkudoksesta, muodostaen "luisen lukon".
3. Maksimaalinen voimien siirto sekä jakaminen femurin proksimaaliselle alueelle.
4. Vähennetty korostus etu-taka suuntaisesti Scarpan kolmion ja Istuinkyhmyn välillä, ylläpitää istuinkyhmyn ja pakaralihaksiston painonsietokykyä.
5. Totaalinen kontakti/täydellinen istuvuus
6. Alipaineen hyödyntäminen sovitinosan kiinnityksessä aina kun mahdollista. (Schuch 1992.)

Rakenteelliset erot ICS ja quadrilateraalisen sovitinosan välillä ovat: quadrilateraalisen sovitinosa muotoillaan raajan pehmytkudosmuotojen mukaisesti. ICS sovitinosan muodot muokataan lantio-alueen luuston anatomian mukaisesti sekä on äärimmäisen tärkeää istuinluun sijainti suhteessa trochanteriin. (Schuch 1992.)

#### 4 Perinteisen sovituksen valmistusmenetelmät

Kipsimitanotossa amputoidun raajan päälle laitetaan silikoni- tai geelilineri. Lineri päällystetään muovikelmulla ja sen päälle laitetaan tarvittaessa Perlon sukkaa. Tukipinnat vahvistetaan joustavalla nauhalla, jota vedetään nivustaipeen alueelta trochanterin yläpuolelle asti. Sukkaan merkitään trochanterin, istuinkyhmyin, lähentäjälihaksen jänteen ja scarpan kolmion paikat. Sen lisäksi merkitään paikat, mistä ympärysmittoja otettiin kipsin muokkausta varten ja femurin distaalipään kohta.

Sen jälkeen kun kaikki kohdat on merkitty ja mitat kirjoitettu ylös, amputoitu raaja kipsataan käyttäen kipsi- tai muovinauhaa, käsin puristaen tukipintoja anteriori-posteriorisesti. Nauhan ollessaan kuiva, kuorikko poistetaan tyngän päältä vetämällä. Saatu kipsikuorikkoa kutsutaan kipsinegatiiviksi. Negatiivi paikataan ja täytetään kipsimassalla. Kun kipsimassa on kuivunut, sen päältä poistetaan kipsikuorikko. Saatuun positiiviin tehdään poistot ja lisäykset merkittyjen tukipintojen kohdille.

Kipsiä poistetaan trochanterin yläpuolelta, scarpan kolmion alueelta ja reiden lihaksiston alueelta. Suurimmat poistot tehdään proksimaalialueelta lateraaliposteriori- ja mediaaliposteriori alueilta. Lisäykset tehdään istuinkyhmyin alueelle ja lähentäjälihaksen jänteen kohdalle. Tarvittaessa lisäyksiä tehdään tyngän herkimmille alueille, joissa hermopinteet ovat lähempänä ihon pintaa.

Laminointimuovin käyttöönotto täyskontakti-sovitinosissa johti kipsinauhan käyttöön negatiivien ottamisessa, jolloin asiakkaan amputoidusta raajasta saatiin suoraan kopio. Saadusta kipsikuorikosta valmistetaan kipsipositiivi jonka päälle rakennetaan lopullinen tuote. On olemassa laaja valikoima erilaisia mitanoton lisälaitteita, joista voi valita sopivimman kipsikuorikon valmistukseen kipsausprosessin aikana. Vaihtoehtoisesti proteesimestari voi kipsata raajan ilman erillisiä apuvälineitä. Tämä toimintatapa on yleisin ICS sovituksen mitanotossa. (Smith ym. 2004, 550.)

Muovivedolla tarkoitetaan menetelmää, jolla valmistetaan perinteisiä reiden diagnostiikka sovitusosia. Kun kipsipositiivi on muokattu ja kuivunut, sen päälle vedetään, alipainetta käyttäen, uunissa lämmitetty muovilevy. Työssä käytetään 15mm:n paksuista Thermolyn rigid muovilevyä, jota lämmitetään kiinnitettynä metallikehikkoon 180 asteisessa uunissa noin 15 minuutin ajan. Muovin ollessa riittävän pehmeä, se vedetään positiivin päälle ja alipaineistetaan, jolloin se ottaa positiivin muodon.

## 5 3D-teknologia ja sovittososan valmistus

### 5.1 3D-teknologia

Tutkimuksissa 3D-tulostuksessa on monia eri nimikkeitä asioille ja näiden nimikkeiden selventäminen on tärkeää. 3D-tekniikalla viitataan yleisesti tietokoneavusteisiin ratkaisuihin, joilla mallinnetaan jokin asia tai esine kolmiulotteisesti. 3D-tulostuksella viitataan puolestaan erilaisiin materiaalin tulostusmenetelmiin, jotka mahdollistavat esineen tai asian vaiheittaisen tulostamisen. Tämä halutun asian tai esineen muodot tallennetaan ja tästä tallennetusta muodosta voidaan muokata ja tulostaa haluttu versio. 3D-skannaus ja muut tietokoneavusteisen suunnittelun CAD (Computer Assisted Design.) menetit ovat tapoja joilla haluttu asia tai esineen muoto saadaan tallennettua tulostamista tai muuta käyttöä varten. Yleisesti tähän muodon tallentamiseen käytetään esimerkiksi skanneria.

3D-skannaus on metodi joka luo kolmiulotteisen esineen, joka perustuu erilaisiin tallentamismenetelmiin, jotka on tarkoitettu tallentamaan kuvia reaaliajassa, ja nämä kuvat toimivat tietokoneella käytettävissä muokkausohjelmissa. (Negru & Rosca & Ionica & Leba & Marica 2019).

Tietokoneavusteisen valmistustekniikan leviäminen alaraajojen protetisoinnissa on johtanut uuden toimintatavan käyttöönottoon. Amputoidun raajan tiedot voidaan syöttää suoraan tietokoneeseen ja valita tietokoneen muistiin tallennettu sovittosamalli. Ohjelmistosuunnittelijan luomat valmiit muotoasetukset muokkaavat mallia vastaamaan potilaan mittoja. Saatuja tietoja käytetään sovittosamallin positiivin veistämiseen. Tämä menetelmä on nopeampi, puhtaampi ja vähemmän kuormittava kun kipsimitanottomenetelmä, sekä proteesimestarille että amputoidulle. (Smith ym 2004, 551.)

3D-tulostamisesta käytetään englanniksi monesti termiä "Additive Modeling" kirjaimellisesti kääntäen lisäävä mallinnus. Tätä pidetään lupaavana teknologiana, jolla on suuria mahdollisuuksia valmistusteollisuudessa. Pääperiaate tällä teknologialla on tulostaa esineitä kerros kerrokselta käyttäen soveltuvia materiaaleja (esimerkiksi neste, polymeeri, metalli) 3D-tietokoneavusteisen suunnittelun kanssa (CAD). Lisäksi tähän

“Additive Modeling” käsitteeseen kuuluu muita tulostamisen tekniikoita jotka ovat vielä enemmän tarkennettuja kuten FDM (Fused Deposition Modeling), jonka ensiksi kehitti Stratasys Inc. Tämä on yksi kaikkein yleisimmin käytetyistä Additive Modeling teknologioista. Sitä käytetään yleensä tulostamaan muovisia esineitä syöttämällä lämpömuovifilamenttia suuttimen läpi. Acrylonitrili Butadieni Styreeni (ABS) ja polylaktinen happo (PLA) ovat materiaaleja joita pääasiallisesti käytetään FDM filamenteissa. (Kim & Park & Kim & Park & Kim & Lee. 2017.)

Tulostimien kehittyessä myös tulostimien komponenttien koko on pienentynyt sekä näiden hinta on tippunut. Tämä puolestaan on tehnyt tulostamisen aloittamisesta taloudellisesti helpompaa ja tämä trendi on ollut näkyvissä jo joitakin vuosia. 3D-skannauksessa on myös huomattu, että edullisempien 3D-skannauksen sekä tulostusvaihtoehtojen käyttö voi myös tuottaa hyvin luotettavan ja tarkan tuotteen henkilöiden tarpeisiin. (Negru ym. 2019).

3D-tulostin käyttää digitaalitiedostoa tulostaen materiaalikerrokset päällekkäin, melkein minkä tahansa esineen muodon tuottamiseen. Nykyään 3D-tulostimien saatavuus kotikäyttöön on johtanut siihen, että harrastajat ottavat sen innokkaasti käyttöön käteväenä ja nopeana välineenä yksinkertaisten muoviesineiden luomiseen, edullisesti ja korkeammalla tarkkuudella. (Mills 2015.)

## 5.2 3D-tulostus materiaalit

Puhuttaessa 3D-tulostuksesta ja siinä käytetyistä materiaaleista, yleisesti keskitytään erilaisiin muoviseoksiin. Teknologian kehittyessä tulostimet ovat saaneet monia uusia materiaaleja käyttöönsä, muun muassa erilaiset metalliseokset. 3D-tulostaminen on mallin tuotteistamista, joka rakentaa esineen kerros kerrokselta mallin, ohjelmiston tai tietokoneen ohjeiden mukaisesti. Biologisessa lääketieteessä usein korvataan normaalisti käytetyt hartsi ja muovi myrkyttömällä biologisesti yhteensopivilla ja vastaanottavilla biomuoveilla, kuten esimerkiksi PLA ja PCL. (Mills 2015.)

Tulostamista suunnitellessa on tärkeää huomioida suunniteltuun tulosteeseen sopiva materiaali sekä tulostin. Kun puhumme filamentista, tarkoitamme tulostamiseen tarkoitettua muovimateriaalirullaa, joka sijoitetaan tulostimeen ja jota tulostin käyttää materiaalina tulostamiseen.

Tulostustavoissakin on eroja lopputuloksen kannalta. Nykyisin on mahdollista käyttää tulostimia, joissa on monia suuttimia jotka ohjaavat tällöin filamenttia monelta alueelta. Aina kun mietitään tulostamista, on hyvä varautua eri tulostamistapojen ja materiaalien eroihin, sillä nämä erot saattavat tuoda yllättäviä ongelmia tulosteisiin. Näitä ongelmia tarkastellessa, on mahdollista myös löytää ratkaisu materiaalista, tulostustavasta, tulostimesta itsestään tai käytetystä mallista.

Monimateriaali-tulostustekniikat viittaavat tekniikkaan, jossa 3D-tulostimessa on monta suutinta, jotka kaikki ohjaavat filamenttia. Vaikka tämä saattaa vaikuttaa yksinkertaiselta parannukselta, voi tämänkaltaiset muutokset parantaa mekaanisia ominaisuuksia fabrikoiduissa esineissä monin tavoin. Tyhjiöt ja päällekkäisyydet voivat ilmentyä kahden materiaalin väliin. Tämä tulisi huomioida, kun tuote tulostetaan käyttäen monia materiaaleja, sillä se voi johtaa materiaalihävikkiin tai lisääntyneisiin valmistuskuluihin. Lisäämällä horisontaalisia tasoja saatiin parempia tuloksia mekaanisiin ominaisuuksiin. Johtuen FDM tulostuksen ominaisuuksista, sen sijaan että tulostetaan eri materiaaleista peräkkäin on helpompaa suuttimen tulostaa ne eri tasolle" (Kim ym. 2017.)

### 5.3 Sovitinosan valmistuksen menetelmät

Sovitinosan mallintaminen lähtee halutun muodon tallentamisesta ja mittojen otosta. Tämä tapahtuu yleisesti skanneria käyttämällä, jolloin siirretään skannerin kuvaama asia tietokoneelle jatkokäsittelyä tai muokkaamista varten. Tämän jälkeen aletaan miettiä tulostin- sekä materiaalivalintoja riippuen tuotteen koosta sekä tarkkuudesta, jota se vaatii. 3D-tulostettaessa yksilöllisillä mitoilla proteesia, varmistaakseen täydellisen anatomisen sopivuuden käytetään näitä viittä vaihetta: 1. Halutun alueen kuvantaminen. 2. 3D-geometrian luominen. 3. Tämän 3D-geometrian siirtäminen tulostussoveltuvaksi tiedostoksi. 4. Soveltuvan 3D-tulostimen valitseminen. 5. Soveltuvan materiaalin valitseminen tulostamista varten. (Negru ym. 2019.)

Henkilön liikkeet hankaloittavat skannausta, siksi skannausmenetelmiä on suunniteltava etukäteen jolloin huomioidaan liikkeen vaikutus skannauksen aikana. Varsinkin asiakkaat jotka ovat herkkäliikkeisiä kuten lapset, tämä on hyvä pitää mielessä. (Tong ym. 2019, 10.) Opinnäytetyössämme on huomioitava , että mallimme (toinen tekijöistä) on paikallaan, eikä hänellä ole mitään pakonomaisia liikkeitä tai muita tekijöitä mitkä hankaloittaisi skannausprosessia. Käytämme kannettavaan tietokoneeseen liitettävää

skanneria, jolloin pystymme liikkumaan skannausaseman kanssa, sekä tarvittaessa muuttamaan skannauskulmaa helposti. Kuitenkin vaihtoehtoja on hyvä miettiä, mikäli tilanteemme olisi toinen.

Vaikka 3D-tulostusta on sovellettu pääasiassa pienen volyymin tuotantoon, tuotteet ovat paljon parempia (kevyempiä, vahvempia ja muokattavia) ja halvempia, verrattuna perinteisillä valmistusprosesseilla valmistettuihin tuotteisiin. Tämä onkin 3D tulostuksen suurimpia hyötyjä. 3D-tulostamisessa voi seurata tarkkaan materiaalien muotoja, mikä mahdollistaa sellaisten mallien luomisen, joita ei voida tuottaa perinteisillä menetelmillä. Yksi kone voi luoda erilaisia tuotteita keramiikasta ihmiskudokseen korkealla valmistusnopeudella, täten vähentää hiilijalanjälkeä ja kustannuksia sekä mahdollistaa valmistamaan laajan tuotevalikoiman. Kaikki nämä ominaisuudet ovat yksinkertaisesti tärkeitä muutoksia valmistus-, lääke-, varastointi- ja vähittäiskaupan menetelmissä ja käytännöissä. (Mills 2015.)

## 6 Sovitinosien vertailu ja suunnittelu

Mittaukset tehdään perinteisesti kipsikuorikko mitanotolla sekä 3D-skannaamalla. Molemmat mitat otetaan opinnäytetyön tekijän jalasta, jonka jälkeen ne muokataan reisisyngän muotoon. Perinteisellä mitanottomenetelmällä valmistetaan kipsipositiivi. 3D-skannauksessa haluttu kappale skannataan käyttäen käsiskanneria, joka tallentaa kuvaamansa tietokoneelle yhtenäiseksi kappaleeksi. Kipsipositiiviin tehdään muovinveto ja 3D-muokkausohjelmilla muokattu kappale tulostetaan.

OMEGA® muokkausohjelma avaa aikaisemmin skannatun muodon ja mahdollistaa tämän muokkauksen tietokoneella. OMEGA® on muotoiluohjelma, jota käytetään erilaisten sovitin osien mittojen ja muiden asioiden muokkaukseen. Ohjelmalla voidaan suurentaa tai pienentää haluttuja alueita sovitinosaassa. Tämä muoto voidaan muokata valmiita malleja käyttäen tai tekijän itse tekemien asetusten mukaisesti.

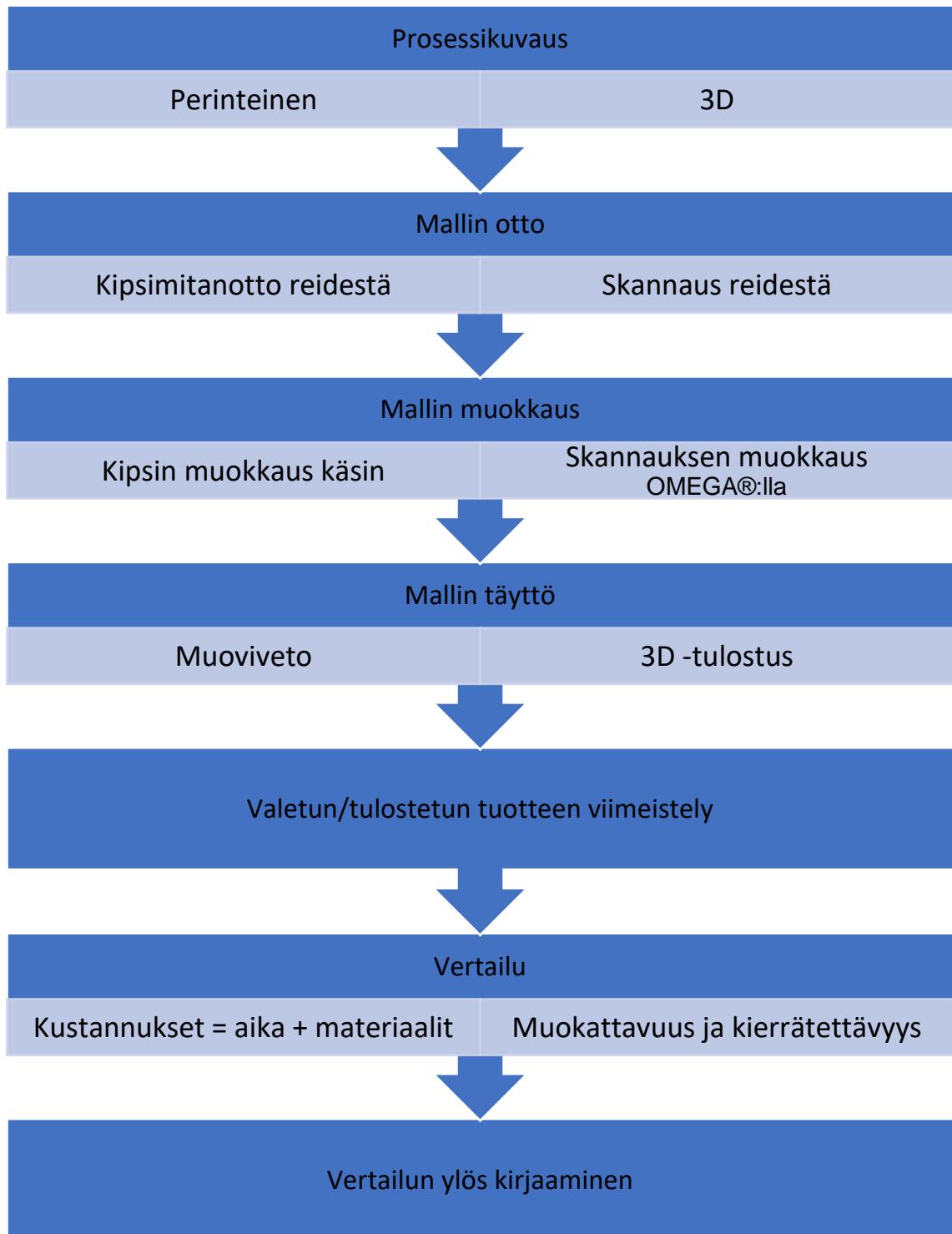
VXelements on 3D-muodon muokkausohjelma, jota käytämme OMEGA® jälkeen. VXelements mahdollistaa 3D-tiedostojen muokkauksen paikkaamalla niissä olevia reikiä, luomalla yhtenäisen pinnan, sekä lisäämällä ja poistamalla muotoja. VXelementsin avulla myös skannauksesta tehtiin oikeasti kolmiulotteinen kappale. Skannaus itsessään on kuin paperiarkki joka on levitetty sovitinosaan muotoon. VXelementsillä luomme tästä "paperiarkista" 5mm paksun sovitinosaan kopiaimalla tämän ja viemällä kopion 5mm alkuperäisestä ulospäin suurentaen tätä. Tämä prosessi VXelementsissä on nimeltä shell offset eli kuoren suurennus. Tämä koko (5mm) vastaa suunnilleen perinteisen diagnostiikkasovitinosaan muovin paksuutta.

Muokattu ja täytetty mallitiedosto viedään tulostimen omaan valmistusohjelmaan. Tässä tapauksessa tulostin on Blackbelt variodrive ja Blackbeltin Cura -ohjelma on tulostusasetuksia ja muokkausta varten. Tulostuksen asetuksissa katsomme varsinkin suuttimen koon ja esineen tukien ja täytön valinnat. Nämä asetukset vaikuttavat eniten tulostusaikaan ja materiaalin kulutukseen. Suuttimen valinta Cura-ohjelmassa auttaa ohjelmaa laskemaan tulostuksen ajan, ja myös näyttämään käyttäjälle miten tulostus tulee osittain näyttämään kyseisellä suuttimen koolla. Kuitenkin itse laitteeseen tulee vaihtaa vastaava suuttimen koko ja tämä vaihto tapahtuu manuaalisesti. Cura-ohjelmassa tulostettava esine tuetaan lisämateriaalista tehdyillä tuilla, ohjelma kertoo käyttäjälle, kun tuille on tarvetta, kun kappale on jostakin kohdasta ilmassa tai kun

kappaleen osat ovat jyrkästi nousevia. 3D-tulostuksessa otetaan muovin ominaisuudet huomioon ja sen mukaan valitaan tulostuksessa käytettävä filamentti. Prototyyppien ollessa valmiina tehdään viimeistelyt. Viimeistelynä tarkoitetaan terävien kohtien hiomista ja reunojen muotojen siistimistä.

Prosessin aikana kirjoitetaan vaiheittain prosessipäiväkirjaa, johon merkitään mitä materiaaleja käytettiin ja paljonko aikaa on kulunut kyseisessä vaiheessa. Päiväkirjaan merkitään myös mahdolliset ongelmatilanteet, mitä on tullut vastaan ja miten niistä on selvitty. Vertailukohtana on molemmissa menetelmissä kulutettu aika sekä materiaalikustannukset. Vertailuissa huomioidaan myös sovitinosien jälkimuokattavuus ja kierrätettävyys.





Kuvio 1: Sovitinosien valmistus prosessikuvaus.

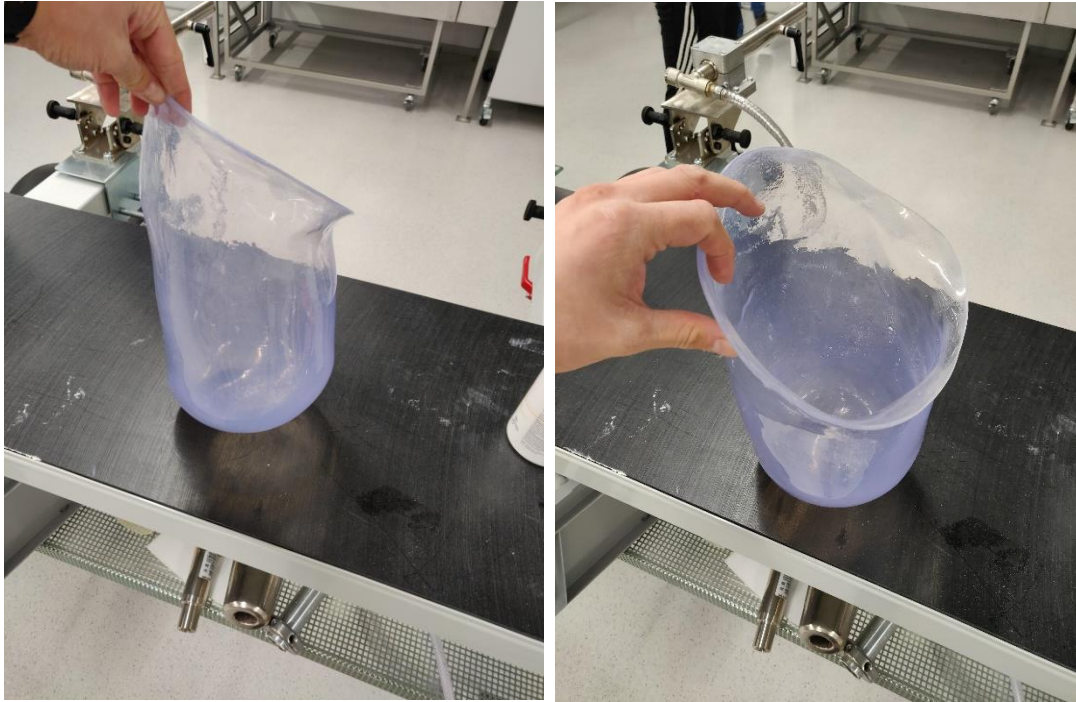
## 7 Tulokset

### 7.1 Perinteinen diagnostiikka-sovitinosa

Perinteisen diagnostiikka-sovitinosaan valmistamiseen meni yhteensä aikaa viisi päivää ja 3,5 tuntia. Suurin osa ajasta meni kipsin kuivumiseen, jolla varmistimme työn onnistumisen. Laadukkaat muovit sallivat muovivedon märän kipsin päälle, silti muoviveto suositellaan tehtäväksi kuivan kipsin päälle, sillä näin saavutetaan usein siistimpi lopputulos ja sovitinosa valmistuminen on varmempaa. Kootut tiedot valmistusvaiheista ja -kuluista löytyvät: Liite 1. Sovitinosalomake muovi.

Materiaalikuluja sovitinosaan meni yhteensä 88€. Kallein yksittäinen komponentti oli Thermolyn rigid -muovilevy, jonka hinta oli 71,20€. Muovilevyn käsittelyssä täytyy olla tarkkana, sillä virheen sattuessa muovilevy täytyy korvata uudella, joka nostaa materiaalikuluja huomattavasti. Mahdollisia virheitä ovat esimerkiksi liian märkä kipsi muovivedon aikana tai muut virheet apuvälineteknikon käsittelyn yhteydessä.

Muovivedon jälkeen sovitinosa avattiin trimmilinjoja myöten sekä siitä aiheutuneet terävät reunat hiottiin pois. Sovitinosa sisä- sekä ulkopinnat tarkastettiin epätasaisuuksien varalta, joita ei onneksi löytynyt. Diagnostiikka-sovitinosa valmistetaan läpinäkyvästä muovista, että apuvälineteknikko pystyy näkemään osan sovituksessa, kuinka paljon kosketuspintaa on sovitinosa ja amputoidun raajan välillä. Diagnosoinnin jälkeen apuvälineteknikko tekee tarvittavia lisäyksiä tai poistoja kipsiposiiviin, sekä valmistaa lopullisen sovitinosa sen avulla.



Kuvio 2 ja 3: Perinteisellä menetelmällä valmistettu diagnostiikka-sovitinosa.

Kuva: Ilya Gromov

## 7.2 3D -diagnostiikka-sovitinosa

3D-diagnostiikka-sovitinosan valmistaminen kesti 22 tuntia 17 minuuttia. Suurin osa ajasta meni kappaleen tulostukseen, joka kesti 21 tuntia. Sovitinosan valmistaminen aloitettiin raajan skannauksella ja skannatun tiedoston muokkauksella tulostamista varten. Tiedoston muokkaus tulostusvalmiuteen, tulostimen ohjelman asetusten valintaan sekä tulostustukien tekoon ja -asetteluun meni suurin osa aktiivisesta työajasta, joka kesti yhden tunnin. Kokonaisuutena 3D-tulostamisella on helppoa ja nopeaa valmistaa sovitinosia, jos apuvälinetekniikko on perehtynyt 3D-tulostuksessa käytettäviin työtapoihin. Materiaalina käytimme PETG economy filamenttilankaa, jonka kelahinta (720 metriä) on 44€. Sovitinosan valmistukseen tarvitsimme filamenttilankaa 320 metriä (17,70€). Tiedot materiaalikuluista saimme 3D-tulostimen BlackBelt Cura -ohjelmasta. Kootut tiedot valmistusvaiheista ja -kuluista löytyvät: Liite 2. Sovitinosalomake 3D.

Tulostusaika on verrannollinen käytettävän 3D-tulostimen suuttimen kokoon ja erillisiin tulostusasetuksiin kuten aikaisemmin mainitsimme kappaleessa 3D-tulostus: Materiaalit. Valmistimme 50% pienemmän version alkuperäisestä kappaleestamme. Tämä kappale tulostui ajassa 4 tuntia 35 minuuttia ja käytti filamenttilankaa 160 metriä. BlackBelt Cura

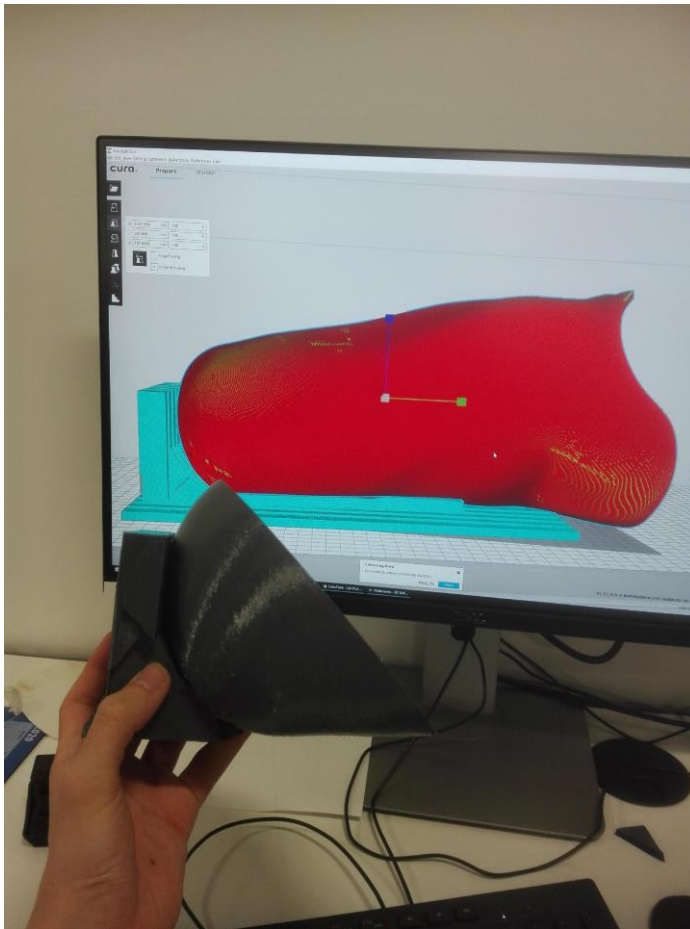
-ohjelman mukaan materiaalikustannukset olivat 8,85€. Tämä tuloste ei ole vertailukelpoinen kokonaiseen perinteisesti valmistettuun diagnostiikka-sovintinosaan, vaan toimi mallitulosteena asetuksillemme.



Kuvio 4: 50% versio diagnostiikka-sovintinosasta. Kuva: Teemu Rokka

Tulostettaessa ensimmäistä kertaa täysikokoista sovintinosaa (21h tuloste), tuloste katkesi 30% kohdalla ja tulostus epäonnistui. Oletamme syyksi katkeamiselle tukirakenteiden riittämättömyyden suhteessa tulosteeseen. Lisäksi ongelmana arvioitiin

syyn olevan materiaalin tulostuskorkeudessa verrattuna tulostinlevyyen.



Kuvio 5: Täysikokoinen tuloste valmistunut vain osittain. Kuva:Teemu Rokka.

Korkeuseroa madallettiin, jotta materiaali tarttuisi paremmin 3D-tulostimen alustaan. Lisäksi tulostamisen aikana lisätuuletusta vähennettiin, jotta materiaali tarttuisi itseensä paremmin. Mallia muokattiin, tukirakenteita vahvistettiin ja pidennettiin BlackBelt Cura -ohjelmalla. Tämä ei ratkaissut tulostusongelmaa. Asetusten muokkaamisen jälkeen tulostetut kokonaiset sovitinosamallit myös epäonnistuivat.

Seuraava ratkaisu ongelmaan, jota testasimme oli koneen uudelleenkalibrointi. Huomasimme koneen jatkolämpölevyn olevan irrallaan ensimmäisestä lämpölevystä. Tulosteen katketessa lämpölevyjen välisen raon kohdalla oletimme, että syy olisi materiaalin nopea jäähtyminen, jolloin tulostuva filamentti ei tarttuisi jäähtyneeseen kappaleeseen. Toimimme lämpölevyt kiinni toisiinsa. Samalla arvioimme tulostushihnan olevan hieman vinossa, joka myös saattaisi vaikuttaa kappaleen tulostumiseen. Tulostushihnaa kohdennettiin, jotta tuloste etenisi suoraan eteenpäin. Epäilimme, että tulostuksen edetessä epätasaisesti kiristetyssä hihnassa, siirty tulostettava alue myös

hieman sivulle. Suuremmissa kaavassa siirtymä on niin suuri, että tulostin kadottaa alkuperäisen pisteen ja tulostuva lanka ei yhdisty jo tulostuneeseen kappaleeseen. Kuitenkaan nämä muutokset eivät ratkaisseet tulostusongelmaa. Osasyynä epäonnistumiseen olivat myös kokemattomuus laitteen sekä materiaalin kanssa, joka johtui ajallisten resurssien puutteista.



Kuvio 6: Tuloste joka on katkennut kesken tulostuksen. Kuva: Teemu Rokka

### 7.3 Sovitinosien vertailu

Aikaisemmassa tutkimuksessa Day ja Riley päätyivät tulokseen, jossa 3D-tulostetut esineet olivat noin puolet halvempia kuin laminoidut tuotteet. Tämä Tietokoneavusteinen suunnittelu ja 3D-tulostus osoittautui tehokkaaksi tavaksi suunnitella, testata ja valmistaa yksilöllinen apuväline (Day & Riley: 2018)

Opinnäytetyömme perusteella sovitinosan valmistus 3D-tulostuksella oli noin 80% edullisempaa kuin perinteisellä menetelmällä valmistettuna. Tässä huomioimme pelkästään materiaalikustannukset (Perinteinen valmistustapa 88€ - 3D-tulostus 17,70€).

Ajallisesti 3D-tuloste olisi myös ollut nopeampi ilman epäonnistumista. Tulosteen valmistus skannauksesta saakka kesti 22h 17 minuuttia. Tästä kuitenkin 1h 15 minuuttia oli aktiivista työaika ja loppu oli koneen omatoimista tulostamista. Tämä koneen itsetoiminen aika ei niinkään ole työaika. Perinteisen diagnostiikka-sovitinosan valmistukseen meni yhteensä aikaa 5 vuorokautta ja 3,5 tuntia. Apuvälineteknikon

työtuntien kannalta perinteiseen sovintosaan meni aikaa 3,5 tuntia aktiivista työaikaa. Emme kuitenkaan saaneet 3D-tulostetta valmiiksi, joten käytännön kannalta vertailua emme pystyneet todentamaan, vaikkakin paperilla tilastot antavat hyvän kuvan.

## 8 Pohdinta

Opinnäytetyö antaa viitteitä siitä, että apuvälineteknikon työtuntien kannalta 3D-teknologia olisi ajallisesti, sekä materiaalikustannusten kannalta mahdollisesti kannattava vaihtoehto täydentämään apuvälineteknikon työtä. Paras hyöty teknologiasta saadaan mitä enemmän käyttäjä on tutustunut 3D-laitteistoihin ja ohjelmistoihin. Tällöin paras lopputulos saadaan aikaiseksi ja samalla myös suunnitteluun ja testaukseen kuluva aika vähenee.

On huomioitavaa, että apuvälinetekniikassa skannattava asia ei ole aina yhtä stabiili kuin tätä opinnäytetyötä tehdessä. Tällöin painottuu kysymykset, onko asiakkaalla mahdollisia liikerajoituksia ja mikäli on, niin miten tämä vaikuttaa mahdollisimman vähän skannauksen laatuun. Samoin on myös mietittävä, toteutetaanko skannaus suoraan vai tehdäänkö skannausta varten muotti jostakin toisesta aineesta. Tällöin skannattava asia on aina paikallaan, mutta tämä tietenkin lisää työstöaikaa ja materiaalikuluja muotin valmistuksen takia. Oletamme, että teknologia pystyy ajan kuluessa paremmin huomioimaan liikkeen skannauksessa ja mahdollisesti minimoimaan tästä aiheutuneet skannausvirheet.

Skannauksen laatuun kannattaa panostaa, sillä mitä parempi alkuperäinen skannausjälki on, sitä helpompaa sen muokkaaminen on tulostusohjelmilla. Muokkauksessa on myös hyvä huomioida kaikki skannatun mallin epäkohdat ja yrittää korjata nämä tässä vaiheessa. Huolellisesti 3D-muokkausohjelmalla muokattu skannattu kappale tuottaa laadukkaamman 3D-tulostuksen. Skannausvaiheessa on hyvä huomioida myös oikeanlainen skannauskulma, jotta monimutkaisten kappaleiden mallintaminen olisi helpompaa.

Arvioimme, että varsinkin pienempien ja keskikokoisten tuotteiden kanssa työskentely on varsinkin kustannustehokasta 3D-tulostuksen avulla. Pieniä tuotteita voidaan tulostaa samalla tulostuskerralla useampia kappaleita, riippuen käytettävän tulostimen koosta. Suurempien tulosteiden kanssa on omat haasteensa. Pohdimme voisiko näitä haasteita estää erilaisilla tulostusasennoilla, esimerkiksi tulostamalla sylinterimäiset osat 90 asteen kulmassa 45 asteen sijaan. Sarjatuotannossa olisi mahdollisesti järkevää hankkia jokaiselle tuotteelle oma 3D-tulostin, että tulostusasetukset pysyisivät samana, eikä silloin ohjelmointiin menisi aikaa tulostusten välissä.



Perinteisen sovituksen valmistus on kokonaisuudessaan huomattavasti hitaampaan verrattuna 3D-tulostamisella valmistettuun sovitusosaan. Toisaalta on myös huomioitava, että suurin osa ajasta perinteisen sovituksen valmistuksessa menee kipsin kuivumiseen, joka toimii vain muottina varsinaiselle osalle. Muovin muokkaus kipsipositiivin päälle vie noin 60 minuuttia aktiivista työaikaa, jolla saadaan sama tulos kuin 3D-tulostamisella (21 tuntia).

Materiaalien kannalta perinteisen sovituksen valmistamiseen menee enemmän komponentteja, jotka kasvattavat sovituksen hintaa sekä hiilijalanjälkeä. Tutkiessamme Color Fabb verkkosivuja, emme löytäneet läpinäkyvää filamenttivaihtoehtoa, joka puolestaan hankaloittaa apuvälineteknikon muokausarviointia 3D-tulostetun tuotteen sovituksen aikana. Tältä kannalta perinteisessä menetelmässä käytettävä läpinäkyvä muovi on käytännöllisempää. Molemmissa sovitusosissa käytettävät muovit ovat kierrätettäviä ja jälkimuokattavia.

Arvioimme, että ihanteellisessa tilanteessa 3D- teknologian käyttöönotto johtaa huomattavaan ajan säästöön apuvälineteknikon työssä. Apuvälineteknikko muokkaa kappaletta ohjelmilla ja lopun valmistuksen tekee 3D-tulostin. Siinä ajassa, missä kipsi kuivuu, tulostin ehtii valmistaa viisi sovitusosaa ja apuvälineteknikko voi tehdä muita töitä samanaikaisesti. 3-D tulostuksessa sovitusosien positiivit tallennetaan tietokoneelle, joten ne eivät vie fyysistä tilaa pajalla perinteiseen työskentelytapaan verrattuna. Työskentelyyn ei myöskään tarvita niin paljon tilaa, kun kipsityöstöä ei tarvita.

On hyvä muistaa, että mikäli käytössä olevia 3D- tulostimia on vain yksi, tällöin kone voi tulostaa vain yhtä isoa kappaletta kerrallaan. Ajatellen opetusympäristöä (riippuen tulostettavien tuotteiden koosta), voi tämä olla pitkäkin aika yhtenäistä tulostusta, jolloin tulostusjonoa syntyy. Ammattioppimisen kannalta harjoitustöitä olisi järkevää tehdä pienemmässä mittakaavassa, jolloin voi ratkaista tulostukseen liittyvien skannausvirheiden sekä tulostustukien riittävyyden. Virheellisiin kappaleisiin ei menisi niin paljon hukkaan työaikaa ja materiaalikuluja. Tämä mahdollistaisi myös mahdollisimman monen osallistumisen koneen käyttämiseen rajallisen ajan puitteissa, esimerkiksi kouluympäristössä.

## Lähteet

Chen, Cong-ping & Ran, Yan-hua & Huang, Jie-guang & Hu, Qiong & Wang, Xiao-yun, 2017. Research of the Influence of 3D Printing Speed on Printing Dimension: Selected Papers from CSMA2016. 10.1515/9783110584974-019. <[https://www.researchgate.net/publication/322157783\\_Research\\_of\\_the\\_Influence\\_of\\_3D\\_Printing\\_Speed\\_on\\_Printing\\_Dimension\\_Selected\\_Papers\\_from\\_CSMA2016](https://www.researchgate.net/publication/322157783_Research_of_the_Influence_of_3D_Printing_Speed_on_Printing_Dimension_Selected_Papers_from_CSMA2016)>. Luettu: 26.01.2020

Day SJ, Riley SP. (2018) Utilising three-dimensional printing techniques when providing unique assistive devices: A case report. *Prosthet Orthot Int.* 2017;42(1):45-49. doi:10.1177/0309364617741776 ladattavissa <[https://www.researchgate.net/publication/321730737\\_Utilising\\_three-dimensional\\_printing\\_techniques\\_when\\_providing\\_unique\\_assistive\\_devices\\_A\\_case\\_report](https://www.researchgate.net/publication/321730737_Utilising_three-dimensional_printing_techniques_when_providing_unique_assistive_devices_A_case_report)>

Kim, Heechang & Park, Eunju & Kim, Suhyun & Park, Bumsoo & Kim, Namhun & Lee, Seungchul. 2017. Experimental Study on Mechanical Properties of Single- and Dual-material 3D Printed Products. *Procedia Manufacturing.* 10. 887-897. 10.1016/j.promfg.2017.07.076. <[https://www.researchgate.net/publication/318291437\\_Experimental\\_Study\\_on\\_Mechanical\\_Properties\\_of\\_Single-\\_and\\_Dual-material\\_3D\\_Printed\\_Products](https://www.researchgate.net/publication/318291437_Experimental_Study_on_Mechanical_Properties_of_Single-_and_Dual-material_3D_Printed_Products)>. Luettu: 26.01.2020

Mills, David. (2015). Future Medicine: The Impact of 3D Printing. *Journal of Nanomaterials & Molecular Nanotechnology.* 4. 10.4172/2324-8777.1000163. Saatavana osoitteessa: <[https://www.researchgate.net/publication/281939684\\_Future\\_Medicine\\_The\\_Impact\\_of\\_3D\\_Printing](https://www.researchgate.net/publication/281939684_Future_Medicine_The_Impact_of_3D_Printing)>. Luettu: 26.01.2020

Negru, N & Leba, Monica & Rosca, Sebastian & Marica, L & Ionica, Andreea. (2019). A new approach on 3D scanning-printing technologies with medical applications. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 572. 012049. 10.1088/1757-899X/572/1/012049.

<[https://www.researchgate.net/publication/334898088\\_A\\_new\\_approach\\_on\\_3D\\_scanning-printing\\_technologies\\_with\\_medical\\_applications](https://www.researchgate.net/publication/334898088_A_new_approach_on_3D_scanning-printing_technologies_with_medical_applications)>. Luettu: 26.01.2020

Paternò, Linda & Ibrahimi, Michele & Gruppioni, Emanuele & Menciassi, Arianna & Ricotti, Leonardo. (2018). Sockets for Limb Prostheses: A Review of Existing Technologies and Open Challenges. IEEE Transactions on Biomedical Engineering. PP.1-1.10.1109/TBME.2017.2775100.

<[https://www.researchgate.net/publication/322667772\\_Sockets\\_for\\_Limb\\_Prostheses\\_A\\_Review\\_of\\_Existing\\_Technologies\\_and\\_Open\\_Challenges](https://www.researchgate.net/publication/322667772_Sockets_for_Limb_Prostheses_A_Review_of_Existing_Technologies_and_Open_Challenges)>

Schuch, C. Michael (2002) Chapter 20B: Transfemoral amputation: Prosthetic management. Atlas of Limb Prosthetics: Surgical, prosthetic, and rehabilitation principles. Rosemont, IL, American Academy Of Orthopedic surgeons, Edition 2, 1992 Reprinted 2002 Verkko versio :<<http://www.oandplibrary.org/alp/chap20-02.asp>>

Smith, Douglas G, Michael John W, Bowker John H, Atlas of amputations and limb deficiencies. Surgical, prosthetic, and rehabilitation principles. Third edition. American academy of orthopaedic surgeons. Julkaistu 2004.

Tong Yuxin & Kucukdeger Ezgi & Halper Justin & Cesewski Ellen & Karakozoff Elena & Haring Alexander P. & McIlvain David & Singh Manjot & Khandelwal Nikita & Meholic Alex & Laheri Sahill & Sharma Akshay & Johnson Blake N. 2019 Low-cost sensor-integrated 3D-printed personalized prosthetic hands for children with amniotic band syndrome : A case study in sensing pressure distribution on an anatomical human-machine interface (AHMI) using 3D-printed conformal electrode arrays. <<https://journals.plos.org/plosone/article/file?id=10.1371/journal.pone.0214120&type=printable>> Luettu: 21.6.2020

Wu, Junhui, 2018. Study on optimization of 3D printing parameters. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 392. 062050. 10.1088/1757-899X/392/6/062050. Saatavana osoitteessa: <[https://www.researchgate.net/publication/326815465\\_Study\\_on\\_optimization\\_of\\_3D\\_printing\\_parameters](https://www.researchgate.net/publication/326815465_Study_on_optimization_of_3D_printing_parameters)>. Luettu: 26.01.2020

**Sovitinosalomake muovi****Reiden sovitinosa nro: 1****Tyyppi Muovi (Muovi)****vai****3D tulostettu (3D)**

Muovi	3D
X	

**Valmistusvaiheet sekä huomioitavat asiat:**

TYÖVAIHE	AIKA	MATERIAALIKUSTAN NUKSET	HUOMIOITA
Mitanotto	20 min	Kipsinauha: 3 rll - 2,75 € Muovinauha: 1 rll - 10,9 € Perlon sukka: 0,5 m - 1 €	Negatiivin ottaminen yksin haasteellista raajan koon takia. Mitanotto on tehtävä reippaalla tahdilla, muovinauhan nopean kovettumisen takia.
Negatiivin vahvistamine n & korkeuden lisääminen	20 min		

Positiivin tekeminen & kuorikon poistaminen	60 min	Kipsi: 3 kg - 2,5 €	Kipsijauhe myydään 25 kg pusseissa, joten testiä varten meille tuli ylimääräisiä kuluja 18,5 € edestä. Normaalioloissa jauhetta voi hyödyntää jatkossa uusien positiivien valmistuksessa.
Kipsin muokkaus & kuivuminen	30 min 5 vrk		Kipsin kuivumiseen menee 3-5 vuorokautta, riippuen positiivin koosta ja lisätyn veden määrästä.
Muoviveto	60 min	Muovilevy: 1 kpl - 71,2 €	
Sovitinosan poistaminen positiivista ja viimeistely	20 min		

## KOMMENTIT

Työaika apuvälinetekniikolta kuluu sovitiinan valmistamiseen yhteensä 3,5 h. Kipsi vaatii kuivukseen viisi vuorokautta. Kokonaisuudessa prosessi on nopea, jos työtä tekee kokenut alan ammattilainen.

Kipsi kuivuu hyvin hitaasti, kolmesta viiteen vuorokauteen, riippuen amputoidun raajan koosta.

Mitanoton aikana Perlon sukkaa käytettiin tosi vähän, mutta sitä on silti ostettava kokonainen rulla, joka maksaa 40 € / rll, samoin myös kipsin kohdalla. Molempia kuitenkin voi hyödyntää jatkossa uusien apuvälineiden valmistuksessa.

Yhteensä sovitiinaan menneiden materiaalien kustannukset olivat 88 €.

Materiaalien hinnat on saatu Metropolia Ammattikorkeakoulun henkilökunnalta.

**Sovitinosalomake 3D****Reiden sovitinosa nro: 2**

**Tyyppi Muovi (Muovi)  
vai  
3D tulostettu (3D)**

Muovi	3D
	X

**Valmistusvaiheet sekä huomioitavat asiat:**

TYÖVAIHE	AIKA	MATERIAALIKUSTAN NUKSET	HUOMIOITA
Skannaus	10 min		Tasainen skannaus nopeus auttoi lopputulokseen
Skannatun muodon editointi OMEGA:lla	15 min		Sovitinosa muokataan lähemmäs haluttua kokonaisuutta. Lisätään tilaa tärkeille anatomisille rakenteille yms



Jatkomuokkaus VXelements ohjelmalla	10 min		Aikaisemmin muokattu kuori tehdään varsinaiseksi sovittosaksi luomalla toinen kerros.
Muokatun esineen vieminen 3D tulostus ohjelmaan ja tukien teko	40 min		Samalla ohjelmassa valittiin kaikki tulostuksen asetukset suuttimesta käytettävään materiaaliin sekä kappaleen ja tukien läheisyys yms.
Tulostus	21 tuntia*	Muovi filamentti PETG economy rulla 720 metriä 44e  (tulosteen käytetty 320 metriä -17,7e)	*Tulostuksen kesto on verrannollinen käytettyyn suuttimen kokoon ja tulosteen täytön tiiviyteen  Tulostusohjelma ilmoittaa käytetyn materiaalin ja materiaalikustannukset sekä tulostusajan.

Tulosteen irrottaminen tuki materiaalista ja tarkastus	2 min		
			Lisähuomiot tuloste tulostunut kahtia

**KOMMENTIT**

Kokonaisuudessaan tulosteen valmistamiseen meni 22 tuntia 17 minuuttia.

Tulostetta suunnitellessa tulostettiin kolme lopullista pienempää mallia testaamaan asetuksia. Näihin malleihin meni 3-6 tuntia tulostusaikaa riippuen mallin koosta. Nämä myös onnistuivat pintalaadultaan hyvin.

Täysikokoista kappaletta emme pystyneet tuottamaan onnistuneesti aikataulullisten ja tuotannollisten ongelmien vuoksi.

## Sanasto

Opinnäytetyön keskeisiä käsitteitä:

**3D-tulostus:** 3D-tulostus on materiaalien tulostamista tiettyyn haluttuun malliin. Tämä tulostus tapahtuu koneellisesti ohjatulla laitteella ja tulostusprosessi koostuu valmiin mallin viemisestä tulostusohjelmistoon, jonka kone lukee ja tämän perusteella alkaa tulostaa ja valmistaa haluttua materiaali- ja muotoyhdistelmää.

**Apuväline:** Tuote joka on tarkoitettu parantamaan ihmisen sosiaalista, henkistä sekä fyysistä toimintakykyä, parantamaan tai ennaltaehkäisemään toiminnallista vajausta tai sairautta.

**Diagnostiikka-sovitinosa:** Sovitinosa, jonka avulla proteesimestari tekee lopulliset muokkaukset varsinaista sovitinosaa varten.

**Filamentti/3D-lanka:** 3D-tulostuksessa käytetty materiaali josta tuote koostuu.

**ICS - (Ischial Containment Socket) :** Reiden sovitinosan tyyppi, jonka nimi viittaa sen muotoiluun joka pitää ischian sen sisällä.

**Kipsinegatiivi:** Kipsikuorikko, joka rakennetaan amputoidun raajan mallintamiseksi.

**Kipsiposiitiivi:** Kipsivalu joka muodostaa kopion raajasta. Saadaan täyttämällä kipsinegatiivi kipsimassalla.

**Proteesi:** Apuväline, joka kompensoi puuttuvaa raajaa joko aktiivisesti tai passiivisesti.

**Proteesimestari:** Apuvälineteknikko, joka on erikoistunut proteesien valmistukseen.

**Quadrilateral sovitinosa :** Reiden sovitinosan tyyppi, jonka nimi viittaa sen neliseinäiseen muotoon

Silikoni-/geelilineri: Silikonista tai geelistä valmistettu "sukka", joka laitetaan amputoidun raajan päälle tukemaan sekä suojaamaan tyngän kudoksia sovituksen alla.

Sovitusosa: Tuote joka mallinnetaan amputoituun raajaan ja joka toimii liittimenä tyngän ja proteesin välissä.

Transfemoraalinen sovitusosa: Reiden sovituksen tyyppi, jonka nimi viittaa sen amputaatiotasoon.