



Sampsa Singh, Miika Utriainen

3D-Tulostusteknologian hyödyntäminen protetiikassa

Kipsittömän sääriproteesin sovitinosan
valmistus ja kehittäminen

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Apuvälineteknikko (AMK)

Apuvälinetekniikan tutkinto-ohjelma

Opinnäytetyö

1.12.2021

Tekijä	Sampsa Singh, Miika Utriainen
Otsikko	3D-Tulostusteknologian hyödyntäminen protetiikassa Kipsittömän sääriproteesin sovitinosan valmistus ja kehittäminen
Sivumäärä	26 sivua + 1 liite
Aika	1.12.2021
Tutkinto	Apuvälinetekniikka
Tutkinto-ohjelma	Apuvälinetekniikan tutkinto-ohjelma
Ohjaajat	Yliopettaja Pekka Paalasmaa Lehtori Tomi Nurminen
<p>Kehitys protetiikassa on jatkuvaa. Alalla on ilmaistu kiinnostusta siirtyä kipsin käytöstä kokonaan pois ekologisista syistä. 3D-tulostusteknologia tarjoaa mahdollisuuden mallintaa ja valmistaa sääriproteesin sovitinosa täysin kipsittömästi. Apuvälinetekniikan tutkinto-ohjelman uudet 3D-laitehankinnat loivat puitteet kehittää vuonna 2020 Ilya Gromovin ja Teemu Rokan tekemää opinnäytetyötä 3D-tulostetuista reisiproteesin sovitinosista.</p> <p>Kehitimme Suomen mittakaavalla uuden valmistusmenetelmän sääriproteesin sovitinosalle käyttäen päämääräisesti 3D skannausta, mallintamista ja tulostamista. 3D tulostettu sovitinosa laminoitiin ja koottiin kokonaiseksi proteesiksi. Saavutimme tyydyttävämmän lopputuloksen, kuin kipsillä valmistettu sovitinosa. Menetelmää pystytään hyödyntämään myös diagnostiikkaa varten käytettävien sovitinosien valmistukseen. Vertasimme taulukoimalla jokaiseen työvaiheeseen kuluvaan aikaan ja materiaalikustannuksiin perinteiseen valmistusmenetelmään. Pyrimme todistamaan 3D tulostamisen olevan ajallisesti ja rahallisesti varteenotettava valmistusmenetelmä. Lisäksi tarkkailimme materiaalien kierrätettävyyttä.</p> <p>3D tulostuksella valmistettu sovitinosa oli nopeampi ja kustannustehokkaampi valmistusmenetelmä. Lopullinen tuote luo varteenotettavuutta 3D menetelmien hyödyntämiselle protetiikan piirissä. Lähivuosina uskomme teknologian kehittyvän siihen pisteeseen, että on mahdollista tulostaa suoraan tulostimesta käyttöön meneviä sovitinosia.</p>	
Avainsanat	3D-teknologia, 3D-tulostus, 3D-skannaus, 3D-mallinnus Alaraajaprotetiikka, Sääriproteesi, Kipsittömyys

Author	Sampsa Singh, Miika Utriainen
Title	Utilization of 3D Printing Technology in Prosthetics Manufacturing and Development of Plaster-Free Transtibial Socket
Number of Pages	26 pages + 1 appendix
Date	12.1.2021
Degree	Bachelor of Health Care
Degree Programme	Prosthetics and Orthotics
Instructors	Pekka Paalasmaa, Principal Lecturer Tomi Nurminen, Lecturer
<p>The field of prosthetics is constantly evolving. There is a growing interest within the field to find alternatives for the use of plaster of Paris for ecological reasons. 3D printing technology offers possibilities for modelling and manufacturing of transtibial sockets, completely plaster-free. With the recent acquisitions of new 3D printers by the degree programme, it has become possible to develop this manufacturing method. This thesis was inspired by Ilya Gromov and Teemu Rokka and their thesis of 2020 on 3D printed transfemoral sockets.</p> <p>Our aim was to develop and compare an all-new (at least in Finland) plaster-free method of manufacturing transtibial sockets primarily using 3D scanning, modelling, and printing. The 3D printing method was compared with the traditional manufacturing methods. The printed socket was laminated after printing to provide a suitable and realistic product, which was then assembled into a complete transtibial prosthesis. We were able to produce a socket that was as good as the one made using traditional methods (plaster). The transparent 3D printed sockets can be secondarily utilized in diagnostics during the fitting of the socket. We conducted a comparison of the time used and the material costs between the two methods and aimed to prove the feasibility and strengths of 3D printing. The recyclability of the materials used was also considered.</p> <p>A transtibial socket made using our method proved to be quicker and cheaper to produce than the one made by using traditional manufacturing methods. The end-product proves that this method is viable to some extent, and we believe this technology will evolve in the coming years to the point when lamination is not needed. Filaments will become stronger and make fitting possible directly after the printing is finished.</p>	
Keywords	3D Technology, 3D Printing, 3D Scanning, 3D Modelling, Lower limb prosthetics, Transtibial prosthesis, Plaster-free

Sisällys

1	Johdanto	5
2	Sääriproteesin sovitososan perusteet	6
2.1	Vanha sovitososan valmistusmenetelmä	7
3	3D-tekniologian esittely	9
3.1	3D-Skannaus	9
3.2	3D-Mallinnus	10
3.3	3D-tulostus	10
3.4	3D-tulostettavat materiaalit	11
3.5	Missä 3D-tekniologiaa voidaan käyttää apuvälinetekniikassa?	12
3.6	Materiaalien ja menetelmien vertailu	13
3.7	Kipsittömyys	14
3.8	Tulostettavien muovien ympäristöystävällisyys	15
4	Opinnäytetyön toteutus	16
4.1	Kirjallisuushaku	16
4.2	Kehitetyn menetelmän esittely	16
4.2.1	Tarkoitus ja tavoite	16
4.2.2	Resurssit	17
4.2.3	Kehitys	17
4.2.4	Toteutus	18
5	Tulokset	21
5.1	Valmis tuote	21
5.2	Aikavertailu	22
5.3	Materiaalien vertailu	23
6	Pohdinta	25
	Lähteet	27
	Liitteet	
	Työkortti	30

1 Johdanto

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on selvittää, löytyykö 3D-tulostusteknologian tuomista uusista mahdollisuuksista edullisempi, nopeampi ja ekologisempi tapa valmistaa sääriproteesin sovitinosia. Vuonna 2020 Metropoliasa tehtiin saman aihepiirin opinnäytetyö ”Reisiproteesin sovitinosia: Vertailu 3D-skannauksen, tulostuksen ja perinteisten valmistusmenetelmien välillä” (Gromov & Rokka 2020). Vuoden 2020 loppupuolella apuvälinetekniikan koulutusohjelman tekemät uudet 3D-laitteistohankinnat loivat entistä paremmat puitteet jatkaa aiheen tutkimista ja kehittämistä. Tässä opinnäytetyössämme siirryimme sääriprotetiikan (*transtibial*) puolelle. Kehitimme täysin kipsittömän työmenetelmän sääriproteesin sovitinosien valmistukseen, jota voidaan hyödyntää myös diagnostiikassa.

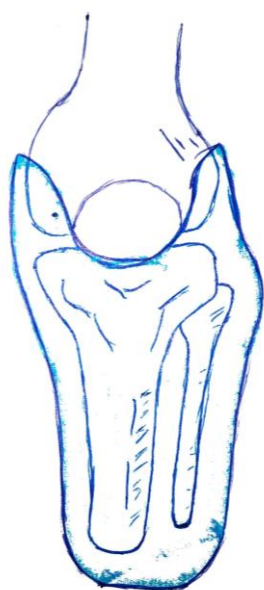
Tarkastelemme sääriproteesin sovitinosan tyyppejä, kuten *Patellar Tendon Bearing* (PTB) ja *Total Surface Bearing* (TSB) -mallia sekä perinteistä valmistusmenetelmää (Fergason & Smith 1999.) Lisäksi esittelemme 3D-tulostuksen tuomia mahdollisuuksia ja etuja. Kipsittömyys on suuressa roolissa, sillä suuret apuvälinetekniikan yritykset ovat ilmaisseet kiinnostusta kipsistä pois siirtymiseen (Respecta 2019). 3D-skannaus- ja tulostusteknologia kehittyy jatkuvasti ja uskomme sen olevan olennainen osa apuvälinetekniikkaa tulevaisuudessa. 3D-teknologiaa hyödyntämällä voidaan säästää useita työtunteja, sekä verrattuna perinteisiin menetelmiin sen ympäristövaikutukset ovat pienemmät.

Selostamme vaihe vaiheelta oman valmistusmenetelmämme, joka toteutettiin 3D-tulostinta ja mallinnusohjelmia apuna käyttäen – täysin ilman kipsiä. Vertaamme vanhan ja uuden menetelmän eroja kustannus- ja aikatasolla sekä töistä syntyvien hukkamateriaalien kierrätettävyyttä. Opinnäytetyö tehtiin ilman työelämän yhteistyökumppania, koulutusohjelman hyväksi tuleville apuvälinetekniikan opiskelijoille.

Tämän opinnäytetyön myötä pyrimme laajentamaan 3D-skannaamisen ja tulostamisen tietotasoa alan opiskelijoille sekä ammattilaisille, jotka käyttävät sovitinosien valmistukseen pääosin kipsistä tehtyjä malleja. Haluamme tuoda esiin tämän teknologian uudet mahdollisuudet ja joitain kehityskohtia.

2 Sääriproteesin sovitinosan perusteet

Sääriholkin tehtävä on yhdistää käyttäjä proteesiinsa ja luoda käyttäjälle tukeva alusta, jota pystyy kuormittamaan tasaisesti ja vaimentaa iskuja liikkeen aikana. Koska jokaisen holkin on oltava yksilöllinen, apuvälineteknikon täytyy tehdä tarkka arvio parhaasta sovitinmallista tapauskohtaisesti (Kapp & Fergason 2016). Yleisin sääriamputaatioissa käytetty sovitinosa on 1956 yleistynyt *Patellar Tendon Bearing* -sovitinosa (PTB). PTB-sovitinosa kantaa painoa Patellajänteen alueelta, tibian mediaaliselta ja lateraalaisesta puolelta ja gastrocnemiuksen alueelta, muodostaen kolmiomaisen ”kantopintamuodon”. (Fergason & Smith 1999.)



Kuva 1. Havainnekuva PTB-sovitinosasta. (kuva: Miika Utriainen, Mallina käytetty Physiopedian kuvaa sivulta physio-pedia.com.)



Kuva 2. Tappilukko (Össur). (kuva: Sampsa Singh)

Tapauskohtaisesti voidaan käyttää myös *Supra Condylar Patellar Tendon Bearing* (SCPTB) -mallista sovitinosaa, jonka ”siivekkeet” sulkevat sisälleen reisiluun nivelnastat (Fergason, J & Smith, G 1999). Tarvittaessa voidaan käyttää myös polviremmiä tai reisimansettia (Pohjolainen, 1993) Noin kolmekymmentä vuotta myöhemmin esiintyi toinen sovitinosa tyyppi, *Total Surface Bearing* (TSB). Ero PTB-sovitinosaan on paljon hillitymmät muodot, jotka jakavat painetta tasaisemmin tyngän koko pinta-alalla. (Al Shuaili, ym. 2019.)

Valitsimme työssämme käytettäväksi PTB-holkin ja kiinnitystavaksi tappilukkojärjestelmän sen yleisyyden ja helppokäyttöisyyden vuoksi. Tappilukolla kiinnitetään proteesi käyttäjään silikoni-linerin avulla, jonka distaalipäässä on tappi. (Otto Bock) Lineriin puettu tynkä työnnetään

holkin sisään. Holkin sisäpuolella distaalipäässä on suppilon muotoinen metallireuna, joka helpottaa pukemista. Lisäksi lukkomekanismin lukittumisesta kuuluu ääni, joka tuo lisää varmuutta käyttäjälle. (Krosin 2004.)

2.1 Vanha sovitososan valmistusmenetelmä

Perinteisesti apuvälineteknikko aloittaa proteesin valmistamisen mitanottoprosessista. Asiakas istuu tuolille ja teknikko käärii silikonilineriin puetun tyngän kelmuun ja Perlon-sukkaan. Kostutetulla kosmoskynällä tehdään merkinnät Perlon sukan pintaan mm. sellaisiin kohtiin, joissa on prominoiva luu tai kipeä kohta, jotka vaativat kevennystä ja sellaiset kohdat, jotka pystyvät kantamaan kuormaa. Merkittävät kohdat ovat esimerkiksi tibian harja, patellajänteen paikka, patella, mediaalinen ja lateraalinen kondyyli. Lisäksi tyngästä kirjataan ylös ympärysmittat tyngän varresta sekä työntömitta kondyleiden keskeltä.



Kuva 3. Sovitososan mitanotto kipsikuorikolla. (kuva: Sampsa Singh)

Viimeiseksi mitanotossa luodaan tyngästä negatiivi. Tyngän päälle kääritään kipsinauhaa tai synteettistä kipsinauhaa, eli lasikuitunauhaa peittämään sen kauttaaltaan ja muotoillaan käsin alustavasti ennen kuin se kerkeää kovettua täysin. Apuvälineteknikko poistaa kuorikon vetämällä sitä kevyesti alaspäin. Kokonaisuudessaan mitanottoprosessiin kuluu tykötärpeiden valmisteluun ja itse mitanottoon noin 30 minuuttia.

Kuorikkoon asetetaan harjateräs myöhemmän käsittelyn helpottamiseksi ja kuorikko täytetään kalkkikipsimassalla ja jätetään kovettumaan noin vuorokaudeksi. Kovettuttuaan riittävästi, tyngän positiivimallia muokataan käsin veistämällä eri kohtia saavuttaakseen optimaalisen paineen jakautumisen. Painoa kantavilta pinnoilta poistetaan materiaalia ja painolle sensitiivisiä alueita voidaan suojata lisäämällä niille alueille materiaalia. Veistäminen on haastava ja paljon aikaa kuluttava työn vaihe. (Bowker & Quigley 2002.) Käsittelyn jälkeen kipsipositiivi täytyy jälleen jättää kuivumaan ainakin vuorokaudeksi tai kahdeksi riippuen tyngän koosta, ennen seuraavaa vaihetta. Ennen laminointia kipsipositiivin distaalipäähän kiinnitetään lukkokoneiston vastakappale.

Veistetty ja kuivatettu positiivi on valmis muovinvetoa tai laminointia varten. Mikäli kyseessä on uusi asiakas, tehdään diagnostiikkasovitinosa ennen laminointia. Läpikuultavasta muovista tehdään sovitusta varten testikappale, jolla voidaan tarkkailla mm. holkin istuvuutta ja paineen jakautumista. Tässä työn vaiheessa käytetään esimerkiksi *ThemoLyn rigid* -muovia (Otto Bock). Teknikko voi tarpeen mukaan tehdä vielä muutoksia kipsimalliin ennen laminointia. (Bowker J & Quigley, M 2002.) Diagnostiikkaholkin valmistamisessa kuluu n. 30 minuuttia.



Kuva 4. Sovitinosan laminointi.
(kuva: Sampsa Singh)

Laminointi on prosessi, jossa kipsipositiivin päälle tehdään kahden PVA –kelmun tasku, jonka sisällä on n. 6–8 kerrosta esimerkiksi perlon-, nyglass- ja/tai lasikuitusukkaa, adapterin sovitinkappale ja itse adapteri, sekä vahvikkeita esimerkiksi lasikuitua tai hiilikuitua. Taskun sisälle kaadetaan laminointi hartsia, johon on sekoitettu kovetejauhetta. Alipaine imu pitää holkin

muodon täydellisenä. Laminoinnin jälkeen holkista leikataan ylimääräinen materiaali irti ja hiotaan viimeistä sovitusta varten sopivaksi. Kipsimalli voidaan säilyttää tulevaisuutta varten, mikäli samalle asiakkaalle täytyy tehdä useita proteeseja. Laminoinnissa ja purkamisessa kuluu noin kaksi tuntia.

Kipsin käyttö on ollut mahdollista kiertää kokonaan käyttämällä CNC-jyrsintä teknologiaa. Uretaaniblokki asetetaan aihioon ja robotti jyrsii ylimääräiset pois, jättäen jäljelle halutun muodon. Vaahtomuovin ongelma on se, että se on erittäin kallista. Yhden jyrsinnän hinnaksi voisi tulla 57 €, mikäli tynkä mahtuu esimerkiksi 40x40x40cm kokoiseen kuutioon. (vaahtomuovi.net) Lisäksi jyrsimisessä syntyy paljon hävikkiä robotin silputessa ylimääräisen materiaalin käyttökeltottomaksi.

3 3D-teknologian esittely

3D-teknologiaa hyödyntäviin valmistus menetelmiin liittyy muutakin kuin paljon puhuttu 3D-tulostaminen. 3D-skannaus ja mallinnus vie mallin tietokoneympäristöön, jossa sitä voidaan tarkastella ja muokata rajattomasti. Tietokoneelle tallennetut tiedostot eivät myöskään vie tilaa kuten perinteiset kipsimallit. Tässä luvussa esitetään 3D-skannauksen, -mallinnuksen sekä tulostuksen perusteet. Paneudumme myös 3D-tulostettaviin materiaaleihin.

3.1 3D-Skannaus

3D-skannaus on tapa luoda kolmiulotteinen virtuaalinen esine, joka perustuu erilaisiin tallennus menetelmiin (Negru & Rosca & Ionica & Leba & Marica 2019). On olemassa kolme yleisesti tunnettua menetelmää luoda tämä kolmiulotteinen kuva: *Passive stereo (PS)*, joka perustuu esineen pinnasta eri kulmista otettuihin kuviin, joita käytetään mallin luomiseen. Menetelmä ei kuitenkaan toimi heikossa valossa tai mikäli esineessä on vaikeasti kuvattava pinta. *Stuctured light (SL)*. SL lisää PS menetelmään projisoidun valon, jonka avulla kamera mittaa esineen pinnan muodot. *Sekä Time-of-light imaging (ToF)* ToF menetelmässä ”muokattu” valo projisoidaan esineeseen ja pinnan muodot mitataan laskemalla lähetetyn valon ajallinen kesto saavuttaa esine. (Bartol & Bojanic & Petkovic & Pribanic 2021.)

Skannerit voivat olla käsin pideltäviä tai paikallaan olevia. Käsin pideltävät skannerit kuten Creatform ovat noin paksun kirjan kokoisia. (Golovin & Marusin & Golubeva 2017.) 3D-skannaus menetelmät ovat kehittyneet viimevuosinakin hurjasti ja nykypäivänä helpot skannaustyöt pystytäänkin tekemään omalla älypuhelimella (PS menetelmä).

3.2 3D-Mallinnus

3D-mallinnusta käytetään tietokoneympäristössä, kun halutaan tutkia tai muokata malleja. Mallinnus tapahtuu CAD (engl. Computer aided design) ohjelmassa, jossa luodaan tai muokataan (esimerkiksi skannattua) mallia. (Golovin 2017). Valmiiksi mallinnettu 3D-malli on mainio tapa esittää jokin monimutkainenkin esine, sillä ohjelmassa mallia pystytään tarkastelemaan eri kulmista ja erilaisissa valotilanteissa. Kaiken lisäksi virtuaalisia esineitä on vaivatonta säilyttää sähköisessä muodossa. (POF Visuals 2021).

Jotta skannattu malli voidaan tulostaa, tulee sitä aina muokata jollain mallinnusohjelmalla, kuten VXEelements. Tähän ohjelmaan voi importoida jatkokäsittelyä varten 3D-mallin ja esimerkiksi paikata skannauksesta jääneitä pieniä reikiä. (Creaform.com) Sovitinosan valmistamiselle vaihe on tärkeä, koska sovitinosan seinämän paksuus määritetään tällä ohjelmalla. Ohjelmassa korjataan kohdat, joita skanneri ei ole pystynyt taltioimaan ja mahdollisesti muokataan sen muotoa halutusti. Toinen protetiikassa käytettävä sovellus on proteesien sovitinosan suunnitteluun luotu mallinnusohjelma Omega. Tähän sovellukseen syötetään sääri- tai reisi-tyngän skannattu tiedosto. Sovelluksella on mahdollista tehdä tarvittavat muutostyöt mitä tavallisesti veistettäisiin kipsimalliin käsin, esimerkiksi kevennykset, sisäännotot ja ympärysmittan supistaminen tietyiltä tasoilta. (Willowwood.com)

3.3 3D-tulostus

3D-tulostus on keino rakentaa kerroksittain kolmiulotteinen esine. Tulostettava materiaali voi olla muovia tai metallia. Vaikka 3D-tulostus on saanut näkyvyyttä tavan kansan joukossa viimeisen kymmenen vuoden aikana, on sen historia alkanut jo 1980-luvulla. (Negru 2019.)

Vaikka 3D-tulostustapoja (tunnetaan myös käsitteellä "Additive manufacturing" eli lisäävä menetelmä) on monia, keskitymme niistä ehkä yleisimminkin tunnettuun Fused deposition modeling eli FDM tulostamiseen. Scott Crumpin kehitti FDM menetelmän 80-luvun lopulla. FDM toimii pursottamalla materiaalia suuttimesta ja liikuttamalla suutinta tulostusalustan päällä ikään kuin "kirjoittaen" osan kerroksen. Seuraavaa kerrosta varten alusta laskeutuu tai suutin nousee. Yleisesti pursotettavana materiaalina käytetään erilaisia muoveja. (Sideways 2021).

Vuoden 2010 jälkeen 3D-tulostaminen on kokenut räjähdysmäisen kasvun, kun siihen liittyvät teknologiat ovat tulleet useamman käyttäjän saataville (Kamran, Saxena 2016). Pienempiä ja edullisempia tulostimia voi ostaa kotiin ja niillä voi tulostaa monimutkaisiakin esineitä. Tämän takia 3D-tulostaminen onkin erioimainen tapa luoda jotain itse keksittyä.

3.4 3D-tulostettavat materiaalit

FDM 3D-tulostuksessa käytettäviä tulostusmateriaaleja kutsutaan filamenteiksi. Filamentit myydään usein tietyn paksuisena ”nauhana” rullattuna kelalle. Tulostuksessa yleiset materiaalit ovat termoplastiset materiaalit kuten PLA, PET(G) ja ABS. Filamenteja on nykyään valtava määrä eri värejä, vahvuuksia ja muita ominaisuuksia eri tarkoituksiin. (Filamentit. 3DJake.) Nykypäivän teknologian ansiosta pystytään tulostamaan myös metalleja, kuten titania DSLM tai SLM-menetelmällä (3D Printing in Metals. 3D Alchemy.)

ABS eli akryylinitriilibutadieenistyreeni on jo pitkään ja vieläkin eniten FDM-tulostuksessa käytetty materiaali. Yleismateriaalina käytetty ABS sopii prototyyppien ja toiminnallisten osien valmistukseen sen jäykkyyden ja iskunkeston vuoksi. Tästä materiaalista on monia erilaisia variaatioita kuten ABS-M30i tai ABSi, joilla on omat erityiset ominaisuudet kuten maatuvuus ja läpinäkyvyys. (Fischer 2008).

PET eli Polyetyleenitereftalaatti on polyester -pohjainen materiaali, jolla on hyvät ominaisuudet FDM-tulostettavaksi materiaaliksi. PET on tuttu materiaali esimerkiksi kierrätyspulloista ja on usein tulostettunakin turvallinen esimerkiksi ruoka-astiaksi. (PET. JuggerBot3D.) PETG:n G-kirjain tarkoittaa ”glykolimodifioitua”, tämä tekee PETG:stä kirkkaamman, vahvemman ja helpomman käyttää menettämättä PET:n hyviä ominaisuuksia. PET ja PETG ovat kierrätettäviä ja ne onkin usein valmistettu kierrätetystä muovista. (PET/PETG. 3DJake.)

Polyactic Adis eli PLA on niin ikään kierrätettävää, joka on johdettu uusiutuvista lähteistä, kuten maissista tai sokeriruokosta. PLA on myös tietyissä olosuhteissa biohajoavaa. PLA on helposti käytettävää filamenttina ja edullista. Se ei kuitenkaan saavuta yhtä hyviä lämmönsieto- ja vahvuusarvoja kuin muut muovit, mutta on silti erinomainen materiaali esimerkiksi prototyyppien tulostamiseen. (PLA. JuggerBot3D.)

Edellä mainittujen muovien suuntaa antavat vetolujuudet:

- PLA: 38–47.8 MPa
- ABS: 29.6–48 MPa
- PET: 42.5–63.6 MPa

Lähde: Juggerbot3d.com

Materiaalien käytön määrää on helppo seurata. Joka kerta kun tulostuksen aloittaa, ohjelma ilmoittaa kuinka paljon materiaalia käytetään tulosteeseen ja mahdollisesti myös kappaleen hinnan. Moni tuote on valmistettu Euroopassa, joten raaka-aineiden alkuperä on helposti jäljitettävissä.

Edellä mainitut materiaalit ovat vain vuoren huippu, sillä erilaisia muoveja ja sekoitteita on ainakin satoja. Tarjolla on hiilikuidulla vahvistettua nylon filamenttia sekä puumaista PLA:ta ja kaikkea sen väliltä (3DJake). 3D-tulostus teknologian kehittymisen myötä myös materiaalit kehittyvät ja pystytään tulostamaan kevyempiä ja vahvempia rakenteita.

3.5 Missä 3D-teknologiaa voidaan käyttää apuvälinetekniikassa?

Apuvälinetekniikassa usein mitataan ihmiskehon osia, jalkoja, tynkiä tai suurempia kokonaisuuksia. Kehon mittoja voidaan taltiota monin eri keinoin. Perinteiset menetelmät ovat työntömitan ja rullamitan käyttö ja näitä manuaalisia menetelmiä pidetäänkin kultaisena standardina. 3D-skannaus tuo kehon mittaamiseen varmuutta ja toistettavuutta. Samalla skannausmenetelmät ovat nopeampia toteuttaa. Kuitenkin kalliit skannerit vaativat koulutusta, jotta niiden käyttö on sujuvaa. (Bartol 2021.)

3D-skannaus on laitteet ja käytänteet tuntevalle melko helppoa, mutta kuitenkin se ei ole aina mahdollista. Esimerkiksi reiden tai reisityngän skannaus on haastavaa jalkojen väliin jäävän ahtaan tilan vuoksi, tai mikäli skannaus halutaan tehdä, tulee luotua mallia korjata mallin ohjelmassa reilusti. Myös ortotiikassa virheasentojen korjaaminen skannausta varten on vaikeaa. Skannausmenetelmät ovat kuitenkin vakiinnuttaneet paikkansa usean apuvälineen valmistuksessa: LutraCAD ohjelman avulla pystytään rakentamaan jyrstittävä tai tulostettava tukipohjallinen jalkapohjasta otetun skannauksen avulla (Lutracad).

3D-mallinnusta käytetään skannattujen mallien muokkaamiseen ja päinvastoin skannattuja malleja käytetään apuna 3D-mallin luomiseksi. Ensimmäisestä esimerkki on Omega-ohjelma, jolla pysytään tehokkaasti muokkaaman skannattua tynkää ohjelman tarjoamilla työkaluilla. Skannattua tiedostoa hyödynnetään LutraCAD:issä, jossa tukipohjallinen luodaan virtuaalisen jalkaterän ympärille. Sen lisäksi että käsiä ei tarvitse kuluttaa mallien muokkaamisessa oikeassa maailmassa, valmiiden ja keskeneräisten mallien säilyttäminen ei vie tilaa, ja ne pysyvät aina siinä kunnossa mihin ne on jätetty.

Google Scholar löytää hakusanalla "3D printing in prosthetics" noin 17 500 tulosta ja "- in medicine" noin 219 000 tulosta. Tämä kertoo, kuinka isossa roolissa 3D-tulostamisen hyödyntäminen on nykypäivän protetiikassa ja lääkkeiden kehittämisessä. (Google Scholar 2021). Hollantilainen Podoprinter on kehittänyt valmiin systeemin pohjallisten valmistukseen, joka nojaa täysin skannaukseen, mallinnukseen ja tulostukseen. (Podoprinter). Myös eurooppalainen Prosfitt on luonut Pandofit nimisen ratkaisun, eli skannaukseen ja mallintamiseen perustuvan menetelmän, jonka lopputuotoksena on 3D-tulostettu proteesin sovitinosa. Tämä menetelmä tarjoaa edullisemman ("Cost to Comfort") ja nopeamman ("Time to Comfort") tavan luoda yksilöllinen alaraajasovitinosa. (Prosfitt). Maailmanlaajuisesti 3D-tulostettuja sääriproteesin sovitinosia on valmistettu tutkimuksessa mm. Sierra Leonessa, jossa oli tarkoitus valmistaa mahdollisimman edullisia proteeseja (Van der Stelt ym. 2021: 5)

Yksi 3D-tulostamisen parhaista puolista on yksilöllisen mekaanisen osan valmistaminen nopeasti ja edullisesti. Usein apuvälinetekniikassa kaivataan ratkaisua ongelmalle, jolle ei ole valmista ratkaisua. Esimerkiksi oikean kokoinen sovitinosa sähköpyörätuolin hallintayksikköä varten tai yksilöllinen kahva paraurheilussa on helpompi, edullisempi ja nopeampi tulostaa itse kuin tilata kolmannelta osapuolelta.

3.6 Materiaalien ja menetelmien vertailu

Perinteinen valmistusmenetelmä tuottaa paljon kipsijätettä ja pieleen menneet 3D-tulostetut holkit tuottavat vain ajoittain muovijätettä. Kierrätyksen mahdollisuudet ovat olemassa molemmille materiaaleille. On mahdollista valmistaa sovitinosa alusta loppuun 3D-tulostamalla, tuottamatta ylimääräistä jätettä, mutta ei ole mahdollista tehdä samaa kipsillä. Jonkin tason vertailevia tutkimuksia 3D-tulostetun ja perinteisesti valmistetulle sääriproteesin sovitinosalle löytyy internetistä mm. Journal of Physics -sivulla (iopscience.iop), mutta ne eivät kata 3D-tulostetun sovitinosan laminointia eivätkä tarkastele ekologista puolta.

3.7 Kipsittömyys

Yksi tämän opinnäytetyön pääpointeista oli kehittää toimintamalli sääriholkin valmistukseen, täysin kipsittömästi. Kipsin poistaminen valmistuksesta tarkoittaa sitä, ettei tarvitse odottaa kipsin kuivumista ja valmistusajat lyhenevät. Isot firmat, kuten Respecta on ilmoittanut siirtävänsä kokonaan pois kipsin käytöstä vuoteen 2022 mennessä ja hyödyntää 3D-skannausta - ja printtausta, joten aihe on erittäin ajankohtainen. (Respectan blogi 2019.)

Enää ei myöskään syntyisi suuria määriä kipsijätettä kuormittamaan luontoa ja kierrätyslaitoksia. Ympäristöministeriön (2018) muistiossa koskien ongelmajätteiden kaatopaikkakieltoa mainitaan kipsijätteiden lajittelun tärkeys jo jätteen syntymäpaikalla. Useimmiten kipsijäte päättyy sekajätteeseen. Kipsilevyt ovat kierrätettävissä, mikäli ne pysyvät puhtaana ja ehjinä. Ympäristöministerin (2018) mukaan: *”Kaatopaikkarejeksiksi joutuva kipsijäte voi reagoidessaan muun orgaanisen materiaalin kanssa muodostaa haitallisia rikkiyhdisteitä ja hajupäästöjä”* (Ympäristöministeriö 2018.)

Kipsi voi olla myös työturvallisuusriski sen päättyessä silmiin, tai hengitysteihin. Saint-Gobain, joka valmistaa mm. *Supraduro* kipsiä suosittelee suojalasien käyttöä, sekä hengityssuojainta, mikäli ilmassa on suurempi määrä kipsiä kuin 6 mg yhtä kuutiota kohden (Saint-Gobain: Material Safety Data Sheet.).

Myös apuvälineteknikon työpiste pysyy siistimpänä. Esimerkiksi jos mennään suorittamaan mitanottoa asiakkaan kotiin, voidaan ottaa mukaan vain skanneri ja kannettava tietokone. Skannaukset voidaan suorittaa missä tahansa asennossa on mukavinta olla, niin kauan, kun raaja saadaan skannattua. (Respecta blogi 2019) Tietokoneen avaamiseen, ohjelman käynnistykseen ja skannerilla tyngän ympäri pyöräytykseen kuluu noin viisi minuuttia. Teknikko pystyy näkemään tietokoneen ruudulta reaaliajassa ja tarvittaessa toistamaan skannauksen, mikäli jälki ei ollut hyvää. Kipsin työstäminen yleisesti vaatii omat tilansa, jossa on hyvä ilmanvaihtojärjestelmä. Kipsintyöstössä käytetty vesi tulee kulkea kipsisuodattimen läpi, joka on kiinni lavuaarissa estämässä kipsin pääsyä tukkimaan putkistoa.

Aikaisemmin, jos kipsikuorikko tai kipsiposiitiivi menisi jostain syystä pilalle, asiakas jouduttaisiin kutsumaan uuteen mitanottoon ennen kuin työt voisi jatkaa. 3D-skannauksen avulla alkuperäinen tiedosto olisi aina olemassa esimerkiksi USB-muistitikulla, johon voi palata tarvittaessa.

Skannattu malli käsitellään esimerkiksi Omega –sovelluksella, jossa on mahdollista tehdä samat tarvittavat muokkaukset mitä perinteisesti veistettäisiin käsin kipsiin. Käsittelyyn voi kulua noin 10–30 minuuttia tapauskohtaisesti. Käsittelyn jälkeen tiedosto siirrettäisiin toiseen sovellukseen, esimerkiksi VX-elements –ohjelmaan, jossa skannatulle mallille pursotettaisiin haluttu seinämän paksuus tulostusta varten. Tulostuksessa kuluu n. 5–10 tuntia riippuen tulostettavan kappaleen koosta ja valitusta seinämän paksuudesta, mutta on silti nopeampi, kuin kipsin kuivumisen odottaminen.

Teoreettisesti useammalla tulostimella voitaisiin samanaikaisesti tulostaa, vaikka viisi asteittain erilaista sovitinosaa sovitusta varten. Parhaan diagnostiikkaholkin voi käyttää laminoinnissa, ja loput ylimääräiset menevät kierrätykseen, jossa niistä tehdään uutta 3D-tulostukseen käytettävää filamenttia.

3.8 Tulostettavien muovien ympäristöystävällisyys

Ylimääräiset ja pieleen menneet printit voidaan sekajätteen sijaan lajitella muovinkeräykseen. Tietysti riippuen tulosteesta käytetyn filamentin ominaisuuksista, esimerkiksi TPU, (Termoplastinen polyuretaani) voidaan kierrättää (Muoviyhdistys). Lisäksi joitain filamentteja, kuten *Refil PLA* on valmistettu 100 % kierrätetystä materiaaleista (3D jake). PLA, eli polymaitohappo on biohajoava kestopuovi ja sitä valmistetaan mm. maissitärkkelyksestä ja sokeriruo'osta. (3D kauppa)

PET-muovi itsessään on kierrätettävää, sillä siitä valmistetaan suuri osa elintarvikepakkauksista ja pulloista, (Suomen uusiomuovi) mutta PET-G on glykolimodifioitu, joka aiheuttaa ongelmia kierrätyksessä. Resource recycling -verkkosivulla kirjoitetaan, että Kaliforniassa PET-G muovin alhaisempi sulamispiste sakkauttaa kierrätettävän massan ja tukkii koneistoa. Kuitenkin samassa artikkelissa argumentoidaan, että tähän on jo keksitty ratkaisu, mutta sitä ei vain toteuteta (Staub, 2017). On myös mahdollista kierrättää itse omalla työpaikalla sijoittamalla laitteistoon, joka muuttaa epäonnistuneet kappaleet ja hukkapalat takaisin käytettäväksi filamentiksi. (Filabot)

4 Opinnäytetyön toteutus

4.1 Kirjallisuushaku

Teoriaosuuden kirjallisuutta haettiin yleisillä hakukoneilla sekä kirjastosta. Suurin osa lähteistä on englanniksi. Lähteitä etsittiin myös käyttämällä aiheisiin perehtyneiden opinnäytetöiden lähdeluetteloita. Google Scholarissa käytetyt hakusanat olivat muun muassa ”3D printed prosthesis”, ”3D scanning in healthcare”, ”3D filament recyclability” ja ”transtibial amputations”. Kirjastosta haimme erityisesti Atlas of amputations -teoksen.

4.2 Kehitetyn menetelmän esittely

Tässä alaluvussa esittelemme, kuinka säärinholkin valmistus ja menetelmän kehittämisprosessi eteni. Prosessi alkoi tyngän skannauksen muokkaamisella Omega -sovelluksessa. Sillä halusimme suunnitella 3D-mallin, joka voidaan myös laminoida tulostamisen jälkeen. Tätä varten oli suunniteltava sovitinosa, jonka distaalipäässä on ”telakka” adapteria varten. Kehittämisprosessin seuraava vaihe oli 3D-tulostimen asetusten optimointi. Etsimme parhaita asetuksia tulostamalla samaa mallia, mutta pienemmässä skaalassa esimerkiksi kokeilimme ensin, onnistuuko mallin tulostaminen 25 % kokoisena. Tulostuksen onnistuttua siirryimme isompaan kokoon, kunnes oikeat asetukset löytyivät.

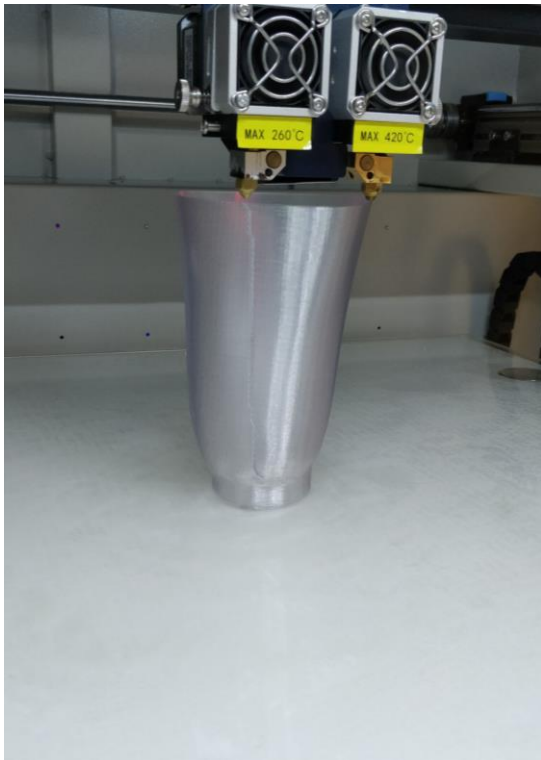
Onnistuneiden tulosteiden kanssa aloitimme hartsivalut. Valun aikana tarvitaan imu varmistamaan sovitinosan muodot. Ongelman aiheutti se, että 3D-tulostettu malli on ontto eikä kestä imun aiheuttamaa painetta. Löysimme ratkaisun ja tuote oli kokoamista vaille valmis. Prosessin aikana pystyimme vähentämään 3D-tulostamiseen kuluvaa aikaa optimoimalla tulostusasetuksia.

4.2.1 Tarkoitus ja tavoite

Opinnäytetyön tarkoitus oli valmistaa sääriproteesin sovitinosa täysin kipsittömästi ja tavoitteena oli kehittää menetelmä, joka vähentää hukkamateriaalien määrää apuvälinealalla. Tavoitteen innoittajia olivat Gromov ja Rokka (2020), jotka omassa opinnäytetyössään yritti tulostaa reisiproteesin sovitinosan. Muita innoittajia oli esimerkiksi Proffit ja heidän valmistamat 3D-tulostetut alaraajaproteesien sovitinosat.

4.2.2 Resurssit

Metropolian Apuvälinetekniikan uusien hankintojen johdosta meillä oli ainutkertainen mahdollisuus kehittää uutta menetelmää. Uusi Creatbot teollisuustulostin mahdollisti isonkin kappaleen tarkan tulostuksen nopeassa ajassa. Tarkat skannerit kuten Creatform ja monipuoliset mallinnus ohjelmat mahdollistivat tulostettavien kappaleiden luomisen. Tuotteen kehittämiseen oli runsaasti aikaa. Laitteiden käytön harjoittelu vaati oman aikansa ja uusien laitteiden sisäänajo on aina oma lukunsa. Käytimme tuotteen kehittämiseen noin kolmen kuukauden ajanjakson.



Kuva 5. sovitinosa tulostuksessa.
(kuva: Miika Utriainen)



Kuva 6. Tulostettu diagnostiikka-sovitinosa (PETG Clear). (kuva: Miika Utriainen)

4.2.3 Kehitys

Tavoitteemme kipsittömästä holkin valmistusmenetelmästä koki monenlaisia mutkia. Holkin rakenne olisi voinut olla täysin 3D-tulostettu, mutta aika sen kehittämiseen ja testaamiseen ei yksinkertaisesti riittänyt. Täysin 3D-tulostetulla holkillla tarkoitetaan tuotetta, joka ei tarvitse tulostuksen jälkeen laminointia tai muuta lisävahviketta, vaan on välittömästi valmis sovitukseen. Idea hartsilla vahvistetusta holkista tuli kaksiosaisesta holkista. Sisempi linerina käytettävä silikonista tai muusta pehmeästä materiaalista valmistettu sovitinosa on pehmeä ja ulompi kova

laminoitu hiilikuitu- tai lasikuituholkki. Ihoa vasten asettuvaa tulostetta emme halunneet lähteä tekemään.

Innoittajana meillä toimi lähteistä löytämämme 3D-tulostetut proteesit, esimerkiksi Sierra Leonessa valmistetut sovitinosat sekä Proffitin tuotteet ((Van der Stelt ym. 2021: 5) (Proffit)). Halusimme kuitenkin kehittää oman menetelmämme alusta alkaen. Halusimme tulostaa ohuen holkin, jota voi käyttää ensimmäisessä sovituksessa diagnostiikka sovitinosana sinällään ja sitten jatkaa sen valmistusta valmiiksi holkiksi. Tämän mahdollisti läpikuultavat materiaalit sekä nopeasti tulostettavissa oleva sovitinosa.

4.2.4 Toteutus

Mallin tuottaminen skannerien ja ohjelmien avulla ei ollut haastavaa, mutta tuotteen tulostukseen käytimme monia yrityksiä. Haasteina oli oikean materiaalin valinta, tulostus asetusten määrittäminen, tulostuksen nopeuden ja tulosteen kestävyysmaksimointi. Päädyimme kokeilemaan PETG-materiaalia sen helposti tulostettavuuden ja ominaisuuksien takia. Valintaan vaikutti myös se, että useammat PETG-filamentit on valmistettu kierrätysmuovista. Lopulta PETG -materiaalilla tulostettu sääriproteesin sovitinosa mahdollisimman vähin kerroksin (kaksi kerrosta) ja ilman tukimateriaaleja onnistui, tulostusaika oli 4h 47min ja jälki siistiä. Tulostettavan holkin kohdalla tavoitteisiin päästiin melko nopeasti. Testattavaksi menevästä holkista hiotaan pois viimeistelylinjojen yli jäävä materiaali. Tulostettu PETG käyttäytyy hiottavana muiden kovien muovien tapaan. Testin yhteydessä sovitinosaan voidaan tehdä muutoksia käyttäen kuumailmapuhallinta. PETG filamenttia on tarjolla läpinäkyvänä, joka mahdollistaa erilaisten painealueiden tarkisteluholkin läpi.



Kuva 7. Laminoitu sovitinosa ja diagnostiikkasovitinosa. (kuva: Miika Utriainen)

Toinen suurista haasteista oli laminoinnin teko. Haasteita toi adapterin kiinnitys sovitinosaan sekä holkin täyttö valun ajaksi. Muutaman epäonnistumisen jälkeen toteutimme laminoinnin täysin ilman kipsiä. Adapteri ja dummy kiinnitettiin malliin muokkausvaiheessa lisätyn kauluksen avulla sinitarralla, kuumaliimalla ja teipillä. Sovitinosa täytettiin lekasoran sijasta lasikuulapuhalluksessa käytettävillä lasikuulilla, jotka tuovat painoa ja ovat tarpeeksi hienojakoista asettuakseen holkin pohjalle. Lasikuulat ja harjateräs onnistuttiin pitämään holkissa uretaanilla toteutetun ”korkin” avulla. Lasikuulat ovat täysin uudelleen käytettävissä ja uretaania kuluu ainoastaan 100 g. Jotta holkin muodot pysyvät ennallaan, valussa käytettävää imun määrää vähennettiin 0,2 baariin. Valu ja sovitinosan viimeistely ovat tuttua tekemistä perinteisestä menetelmästä.

Mikäli tarvitsee välituppea, helpointa on tulostaa se valmiiksi oikeaan kokoon skaalattuna, niin ettei se päälle tarvitse valaa hartsia. Emme kokeilleet valun tekemistä välitupen kanssa, mutta esimerkiksi pehmeästä varioShore TPU -filamentista (3DJake) tulostetun välitupen pitäisi kestää valussa syntyvät lämmöt, mikäli se on valun alin kerros ja lasipuhalluskuulat ovat pakattu tiiviisti. Koska välitupen on tultava sovitinosan viimeistelylinjojen yläpuolelle, reunat on suojattava, jottei valussa muovi pääse jumittamaan sitä kiinni. Toisinaan, on kokeilemisen arvoista, millainen lopputulos syntyy, jos laminoi välitupen päälle ikään kuin integroiden pehmeän sisäseinämän sovitinosaan.

Valun valmistelun yhteydessä kohtasimme ongelman. Sovitusta varten haetut viimeistelylinjat vaikeuttavat uretaanikorkin tekoa niin, että on helpompi tulostaa toinen sovitinosa haluttujen muokkausten kanssa ja käyttää tulostuksessa syntyvää reunusta uretaanikorkin rakennukseen. Liitteessä 1 löytyvässä työkortissa on selitetty työvaiheet tarkemmin läpi kuvien kera.



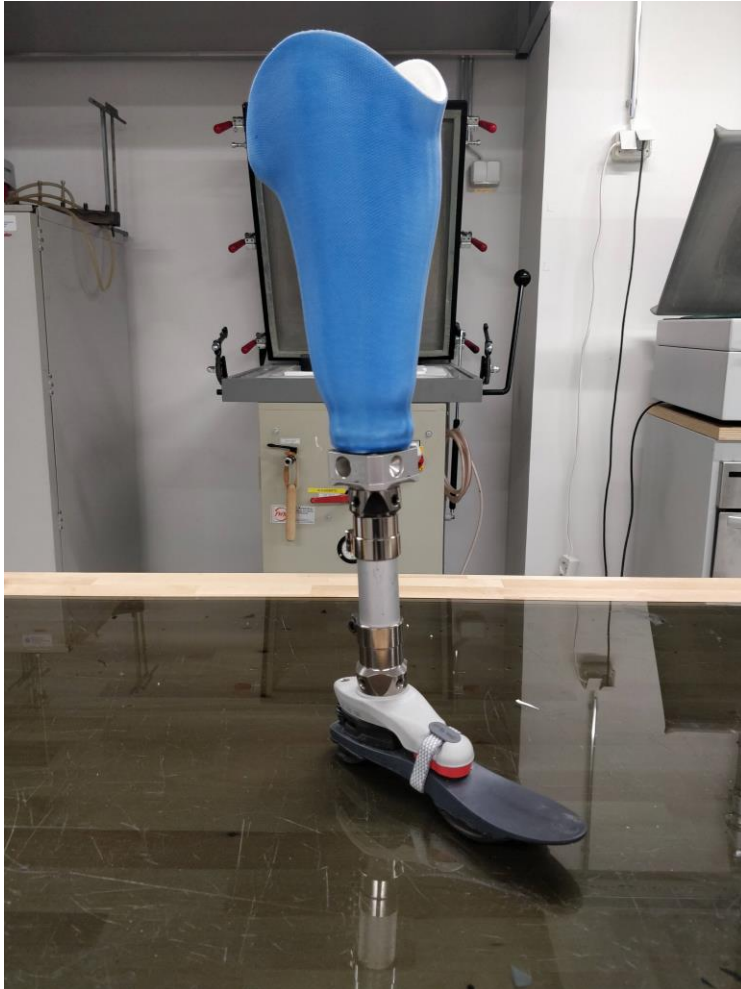
Kuva 8 Tulostettu sovitinosa, johon liitetty 4-reikä adapteri. (kuva: Miika Utriainen)



Kuva 9 Perlon-sukilla peitetty sovitinosa ennen laminointia. (Kuva: Miika Utriainen)

5 Tulokset

5.1 Valmis tuote



Kuva 10. Koottu Sääriproteesi.
(kuva: Miika Utriainen)

Projektin lopputulos on Suomen mittapuulla uusi sääriholkin valmistusmenetelmä täysin ilman kipsiä. Menetelmässä käytetään apuna 3D-skanneria, - mallinnus ohjelmia sekä - tulostinta. Varmuutta tuo laminointi, jonka avulla tulostettua sovitosaa vahvistetaan ja kiinnitykseen käytettävää adapteri yhdistetään tuotteeseen. Tulostettu sovitososa mahdollistaa diagnostiikka-sovitinosan sekä valmiin sovitososan valmistuksen nopeammin, edullisemmin ja siistimin kuin perinteisin menetelmin.

5.2 Aikavertailu

Vertailtavat ajat ovat arvioituja. Arvioinnissa on käytetty käytännön kokemusta. Vertailtavat ajat ovat hypoteettisen ammattilaisen saavuttamia, eli esimerkiksi mallin muokkaukseen kuluisi arvon perusteella osaavalta henkilöltä 15 minuuttia. Arvioidut ajat eivät sisällä epäonnistumisia kuten uuden mitanoton tarvetta tai tulostuksen pieleenmenoa. Huom. Tulostukset 1. ja 2. voidaan tehdä samaan aikaan kahdella tulostimella, jolloin työaikaa häviää 5 tuntia.

Perinteiset työvaiheet	3D-menetelmän työvaiheet
Mitanotto kipsikuorikolla 45 min	Mitanotto skannerilla 10 min
Kuorikon täyttö, kuivuminen ja purku 1 vrk	Mallin muokkaus Omega ja VXEelements 15 min
Veisto ja kuivuminen 1 t + 1 vrk	Tulostimen ajo 5 min + 5 t (testisovitinosi)
Testiholkin valmistus muovivedolla 1 t	
Sovitus ja muutokset 30min-1 t	Sovitus ja muutokset 30 min
	2. tulostus 5 t
Holkin valu 30min + 1 t (kovettuminen)	Holkin valmistelu ja valu 1 t + 1 t
Viimeistely 30 min	Viimeistely 30 min
2. Sovitus, muutokset, luovutus 30min	2. Sovitus, muutokset, luovutus 30min
yht. 5 t 15-45min, miehittämätöntä 2 vrk	yht. 4 t 45 min, miehittämätöntä 10 t

Taulukko 1. Aikavertailutaulukko

Arvioiden perusteella perinteisin menetelmin valmistetun testiholkin ja valmiin luovutettavan holkin valmistukseen kuluu aktiivista työaika 5 tuntia 45 minuuttia. Passiivista työaika eli tässä tapauksessa kipsin kuivumisen odotusta kuluu noin 2 vuorokautta. Kuivumista voidaan edistää laittamalla kipsi kuivauskaappiin, joka pahimmassa tapauksessa johtaa kipsin halkeamiseen tai valun yhteydessä voidaan käyttää nailonsukkaa. Nailonsukan käyttäminen määrän kipsin kanssa valaessa, voi johtaa kuplien muodostumiseen ja huonoon viimeistelyyn. Kehittämämme menetelmän läpivientiin kuluu aktiivista työaika 4 tuntia 45 minuuttia ja passiivista työaika eli tulostusta yhdellä tulostimella 10 tuntia. Odotusaika pystytään puolittamaan, mikäli testisovitinosa ja lopulliseen valmistukseen käytettävä sovitinosa tulostetaan samaan aikaan kahdella tulostimella, tällöin passiivinen työaika on 5 tuntia. Yhteensä aikaeroa menetelmien välillä on enimmillään 44 tuntia 3D-menetelmän eduksi. Suurimman eron tekee kipsin kuivumisen odottamisen tarve. Asiakaskokemuksen kannalta katsottuna mitanoton jälkeen on mahdollista sopia sovitin- ja luovutusaika esimerkiksi seuraavalle päivälle.

5.3 Materiaalien vertailu

3D-mallinnuksella valmistetun sääriproteesin sovitinosan valmistukseen PetG -filamenttia kului valmistuksessa n. 108 g, ja sen hinnaksi tuli CreatBot:in kehittämän CreatWare -ohjelman arvion mukaan 4,03 € (sis. ALV%) (CreatBot). Valmiin holkin painoon voidaan lisätä saman verran painoa, kun 3D-mallinnetun holkin tuottamisessa käytettiin filamenttia, sillä laminoinnin työvaiheet ovat identtiset. Valuun valmistelussa käytimme enemmän tarvikkeita, kuten lasipuhallus kuulia, jotka ovat täysin uusiokäytettävissä ja yhteensä noin 100 g uretaania. Niiden tehtävä on ainoastaan taata hyvä laminointi jälki, joten ne poistetaan valun jälkeen kokonaan, täten ne eivät vaikuta holkin lopulliseen painoon. Nyglass -sukkaa käytettiin yhteen valuun 6–8 kerrosta, eli n. 200–250 cm. Laminointi hartsia käytettiin n. 300 ml, eli reilusti, jotta varmistetaan, että se riittää.

Suurimmat erot perinteiseen menetelmään on kipsi ja diagnostiikkaholkin tekemisessä käytettävä muovi. Yksi säkki kipsiä maksaa n. 30 € ja siitä riittää useammalle projektille, mutta tuottaa suuria määriä kipsijätettä. Muovinvedossa käytettävät muovilevyt maksavat n. 71,2 € kappaleelta, joten kun tehdään diagnostiikka sovitinosa, 3D-tulostettua aihiota käyttävä menetelmä on edullisempi (taulukko 2.). Jos lasketaan menetelmien välillä eroavien materiaalien kustannuksien ero, saadaan (perinteinen 614.80 € - 3D-menetelmä 460.92 € = 153.88 €) n. 150 € ero 3D-menetelmän eduksi.

Perinteiset työvaiheet	3D-Menetelmän työvaiheet
Kipsimallissa käytetty kipsi 1,20€ / kg, 3kg malli maksaa 3,6€.	
	Tulostuksessa käytettyä filamenttia 108g maksaa 4,03€
ThermoLyn Rigid muovilevy diagnostiikkasovitinosa varten 71,2€	Samanlaisen tulosteen käyttö diagnostiikkasovitinosa: 4,03€
	Valun valmistelussa käytettävät Uretaani, Pedilen 300, 23,13€ / kg ja Uretaanin kovete, 21,26€ / kg, käytetään yhteensä n. 100g eli n. 2.86€ Sekä Lasikuulat 0€ (Uusiokäytettävä)
Aktiiviset työtunnit	Aktiiviset työtunnit
5,45h	4,45h
Apuvälineteknikon työajan kustannus: n.540,00€	Apuvälineteknikon työajan kustannus: n. 450,00€

Taulukko 2. Menetelmissä toisistaan eroavien materiaalien hinnat (hinnat saatu Metropolian henkilökunnalta)

5.4 Ympäristövaikutukset

Kipsi voi muodostaa haitallisia hajuja ja päästöjä, mikäli sitä ei lajitella oikein tai uusiokäytetä (Ympäristöministeriö 2018.) Kipsin käyttö on myös haitallista terveydelle sen pölytyessä työtällassa (Saint-Gobain: Material Safety Data Sheet.). Näihin ongelmiin saatiin suora ratkaisu kierrättämällä kipsin käyttö. Keksimällä vaihtoehtoinen tapa valmistaa sovitinosia, luotiin edullisempi ja nopeampi tapa mutta ennen kaikkea ympäristölle suotuisampi tapa. 3D-menetelmästä syntyy jätettä vain n. 100 gramman verran käytetystä uretaanista sekä viimeistelylinjojen yli jäävä materiaali. Tulostuksesta syntyy jätettä vain, jos joudutaan käyttämään tukirakenteita tukemaan liikaa tyhjän päälle kaarevia rakenteita, joita sovitinosissa harvoin on.

Mainittu uretaani on uskomme mukaan mahdollista sekin olla käyttämättä, jos kehitettäisiin menetelmään sopiva uudelleen käytettävä ”korkki”. Lisäksi jätteen määrää pystytään vähentämään entisestään käyttämällä virheellisten tulostusten ja diagnostiikassa käytettyjen sovitinosien muovit uudelleen kierrätetyn filamentin muodossa

6 Pohdinta

Kehitimme muutaman kuukauden aikana menetelmän valmistaa sääriproteesin sovitinholkin täysin kipsittömästi. Olemme erittäin tyytyväisiä verrattain lyhyessä ajassa saavuttamaamme lopputulokseen 3D-mallintamisen ja tulostamisen ajoittaisen haastavuuden vuoksi. Saimme valmistettua 3D-tulostamalla vertailukelpoisen sovitinosan tarkoituksen mukaan kokonaan kipsittömästi ja kerättyä sen valmistuksesta tärkeää dataa. Käyttämämme tulostusfilamentti kesti laminointiprosessissa syntyvät lämpötilat ja samanaikaisen alipaineimun.

Creatbot -tulostin mahdollisti sovitinosien järkevän tulostamisen ilman tukimateriaaleja ja vaikeuksia. Tulostaminen ja laminointi on onnistunut reisiproteesin sovitinosalla, sekä sääriproteesin sovitinosalla. Paljon kokeilua on silti vielä tehtävissä. Työmme kohdistui yhteen taltioituun malliin sekä yhteen lukkomekanismiin, joten on vaikea sanoa, kuinka menetelmä toimii erilaisten tynkien ja lukkomekanismien kanssa. Tähän toivomme, että nuoremmat apuvälinetekniikan opiskelijat tarttuisivat.

Vaikka vertailu ajassa ja materiaalien kustannuksissa on yllätykseksemme melko tiukkaa, (vertailtujen perinteisen ja meidän kehittämän menetelmän välillä) on ympäristövaikutusten ero

huomattava ja painava. Olisi tärkeää, että kipsijätteen ja muiden valmistuksessa syntyvien jätteiden ja päästöjen määrää tutkittaisiin, jotta saataisiin tarkempi käsitys protetiikassa syntyvistä jätehuollon rasitteesta ja ilmastovaikutuksista.

Lähtiessä tulostamaan on varauduttava oikeiden asetusten löytämiseen ja siihen voi kulua ylimääräistä aikaa. Toisinaan, kun asetukset on löydetty, tulostaminen toimii kuin liukuhihnalla. Kuten kaikkiin uusiin menetelmiin myös tulostamiseen ja siihen liittyviin työvaiheisiin tulee harjaantua, jotta saavutetaan todellinen potentiaali.

Ajallisista syistä emme kerenneet tutkimaan eri filamenttien vahvuuksia laminoinnin jälkeen. Olisiko mahdollista laminoida käyttäen vähemmän Perlon sukka kerroksia, tai onko jopa mahdollista jättää laminointi kokonaan pois? Uskomme, että esimerkiksi Nylon PA12+CF15 filamentista voisi kokeilla tulostaa suoraan tulostimesta käyttöön menevä sääriproteesin sovitosan erittäin hyvän materiaalivahvuutensa puolesta. Nylonin olevan jo itsestään äärimmäisen kestävä ja vetoluja materiaali, jonka lisäksi sitä on vahvistettu hiilikuidulla (3DJake). Tämä jättäisi myös laminoinnin historiaan. Olisi hyvä tutkia myös sellaisten filamenttien käyttöä, mitkä on valmistettu kierrätetyistä materiaaleista ja mitä pystytään kierrättämään uudelleen helposti. Tulostusteknologia mahdollistaa monien eri tyylisten sovitosien valmistuksen. Voidaan esimerkiksi tulostaa pehmeämpi välituppi, jonka ympärille valmistetaan kova ulkokuori. Tai jo edellä mainittu täysin tulostettu sovitinosa.

Emme päässeet toteuttamaan opinnäytetyötä kokemusasiantuntijan kanssa, jolloin olisimme valmistaneet proteesin uudella menetelmällä proteesin käyttäjälle. Tällöin olisimme saaneet konkreettista palautetta holkin istuvuudesta ja kestävyydestä.

Olemme huomanneet, että 3D-teknologiat kokevat perinteisiin turvautuvalla apuvälinetekniikan alalla paljon epäilyksiä, vaikka näyttöä sen käytäntöön ottamiselle olisi. Omasta mielestämme vanhasta kiinni pitäminen ja epäröinti hidastaa uusien menetelmien kehitystä. Ymmärrämme ettei 3D-menetelmiin voi aina täysin turvautua. Joissain tapauksissa skannerin tuomat edut häviävät harjaantuneen tekijän tarkalle kädelle ja kipsinauhalla otetulle mitalle. Palpaatio on erittäin tärkeässä roolissa molemmissa mitanottomenetelmissä. Tyngän taltioiminen skannerilla on mahdollista, sillä sen asentoa ei usein tarvitse korjata, joka siis vaikeuttaisi tai tekisi skannauksesta mahdotonta.

Lähteet

3D kauppa. Tietoa filamenteista. Saatavana: <<https://3dkauppa.com/tietoa-filamenteista>>. Luettu 17.9.2021

3D Printing in Metals.DMLS. 3D Alchemy. Saatavana: <<https://www.3d-alchemy.co.uk/3d-printing-in-titanium.html>>. Luettu 10.9.2021

Al Shuaili, N & McGarry, A & Aslani, N & Duff, L Transtibial prosthetic socket design and suspension mechanism: a literature review. Journal of Prosthetics and Orthotics, 31(), 224–245. Saatavana: <<https://doi.org/10.1097/JPO.000000000000002>>.

Bartol Kristijan & Bojanic David & Petkovic Tomislav & Pribanic Tomislav 2021. A Review of Body Measurement Usind 3D Scanning. Croatia; IEEE Access. Saatavana: <<https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=9419003>>.

Bowker J & Quigley, M 2002, Atlas of limb prosthetics: Surgical, Prosthetic and Rehabilitation principles. Rosemont IL, American academy of Orthopedic suregons, edition 2, 1992, uudelleenpainettu 2002. Saatavana: <<http://www.oandplibrary.org/alp/chap04-01.asp>>.

Breuckmann Berend 2014. 25 Years old High Definition 3D Scanning: History, State of the Art, Outlook. Saksa; Electronic Visualisation and the Arts.

Creaform, VXelements-ohjelma. Saatavana: <<https://www.cati.com/3d-scanning/software/vxelements/>>

CreatBot. Saatavana <<https://www.creatbot.com/en/default.html>>. Luettu 5.10.2021

Ferguson, J & Smith, D Socket considerations for the patient with a transtibial amputation. Saatavana: <<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/10212599/>>. Luettu 17.9.2021

Filabot. Saatavana: <<https://www.filabot.com/collections/filabot-core/products/full-recycling-setup>> Luettu: 17.9.2021

Filamentit. 3D Jake.Saatavana: <<https://www.3djake.fi/filamentit>>. Luettu 9.9.2021

Fischer Fred 2008. Thermoplastics: The Best Choice for 3D Printing. Stratasys.

Golovin Mikhail & Marusin Nikita 2018. Use of 3D Printing in Orthopedic Prosthetics Industry. Biomedical Engineering. Saatavana: <https://www.researchgate.net/publication/326419726_Use_of_3D_Printing_in_the_Orthopedic_Prosthetics_Industry>.

Ikonen, T. Duodecim lehti 2011; 127(15):1519–20. Saatavana: <<https://www.duodecim-lehti.fi/duo99704>>. Luettu 15.9.2021

Insole Design. Design Software. LutraCAD. Saatavana: <<https://www.lutracad.com/software/insole>>. Luettu 9.9.2021

Journal of Physics. Saatavana <<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1126/1/012016>>

Kamran Medhavi & Saxena Abhishek 2016. A Comprehensive Stude on 3D Printing Technology. MIT International Journal of Mechanical Engineering. MIT Publications.

Kapp, S & Fergason J, Atlas of amputations and limb deficiencies: surgical, prosthetic, and rehabilitation principles. Vol 2 Lower limb, management issues 2016 (39; 502)

Krosin, Richard 2004-2005 The Pin Lock Reference Manual of Prosthetists. Saatavana: <<https://cdn.ymaws.com/www.oandp.org/resource/resmgr/images/resresearch/Locks.pdf>>.

Muoviyhdistys Saatavana <<https://www.muoviyhdistys.fi/2016/07/19/osa-11-termoplastiset-elastomeerit/>> Luettu 14.9.2021

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. Saatavana: <https://www.researchgate.net/publication/334898088_A_new_approach_on_3D_scanning-printing_technologies_with_medical_applications>

Otto Bock. Materiaalikatalogi. Saatavana: <<https://www.ottobock.es/media/cat%C3%A1logo-de-materiales-gb.pdf>>.

Otto Bock. Tappilukko. Saatavana: <<https://www.ottobock.co.uk/prosthetics/lower-limb-prosthetics/sockets-and-liners/pin-lock-system/>>. Luettu 21.20.2021

Our Solution. Sole by Podoprinter. Saatavana: <<https://podoprinter.com/the-sole-podoprinter-solution/>>. Luettu 9.9.2021.

PET. Juggernaut 3D. Saatavana: <<https://juggernaut3d.com/pet/>>. Luettu 9.9.2021.

PET/PETG. Filamentit. 3D Jake. Saatavana: <https://www.3djake.fi/filamentit/pet-filamentit?gclid=CjwKCAjwvuGJBhB1EiwACU1AiWD5FsiyzWmlhd0rk1-b63cMpVwSwnr1qqGbr-BiBqS2WCNDqhoq7RoCDOsQAvD_BwE>. Luettu 9.9.2021.

Physiopedia, PTB havainnekuvan malli. Saatavana: <https://www.physio-pedia.com/index.php?title=Lower_Limb_Prosthetic_Sockets_and_Suspension_Systems&veaction=edit§ion=3>. Luettu 21.20.2021.

PLA. Juggernaut 3D. Saatavana: <<https://juggernaut3d.com/pla/>>. Luettu 9.9.2021.

POF Visuals 2019. 3D-mallinnus näkyy jo kaikkialla. Saatavana: <<https://pofvisuals.fi/3d-mallinnus-nakyy-jo-kaikkialla/>>. Luettu 9.9.2021.

Pohjolainen, Timo 1993 Duodecimlehti 109(4):329 Saatavana <<https://www.duodecimlehti.fi/duo30045>>. Luettu 16.9.2021

Respectan blogi, 2019 Saatavana: <<https://www.respecta.fi/ajankohtaista/blog/kipsi-vaihtuuskanneriin/>>. Luettu 9.9.2021

Saint-Gobain Supraduro Material Safety Data Sheet ladattavissa < <https://www.saintgobain-formula.com/product/supraduro>>. Luettu 16.9.2021

Shapeways.3D Printing Technologies Explained. Shapeways Blog. Saatavana: <<https://www.shapeways.com/blog/archives/1215-3d-printing-technologies-explained.html>>. Luettu 9.9.2021.

Staub, Colin 2017 Resource Recycling Saatavana: <<https://resource-recycling.com/plastics/2017/10/18/petg-excluded-no-1-resin-code-california/>>. Luettu 11.9.2021

The Pandofit solution. Proffit. Saatavana: <<https://proffit.com/solution>>. Luettu 9.9.2021.

Vaahatomuovi.net Saatavana:<<https://vaahatomuovi.net/tuotteet/vaahatomuovikuutiot---vaahatomuovilieri%C3%B6t---vaahatomuoviheppa>>. Luettu 16.9.2021

Van der Stelt, M & Grobusch, M & Koroma, A & Papenburg, M & Kebbie, I & Slump, C & Maal, T & Brouwers, L 2021. Pioneering Low-Cost 3D-Printed Transtibial Prosthetics to Serve a Rural Population in Sierra Leone – an Observational Cohort Study. Saatavana <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2589537021001541>>

Ympäristöministeriön muistio: 25.6 2018 Saatavana: <https://ym.fi/documents/1410903/38439968/Orgaanisen-jatteen-kaatopaikkakiellon-soveltaminen-3BBE6023_43F0_44D0_BEFE_AAF4AE464968-138515.pdf/1f31fd19-504d-1f23-d46a-aa34b1fe7e08/Orgaanisen-jatteen-kaatopaikkakiellon-soveltaminen-3BBE6023_43F0_44D0_BEFE_AAF4AE464968-138515.pdf?t=1603260910164>

Työkortti

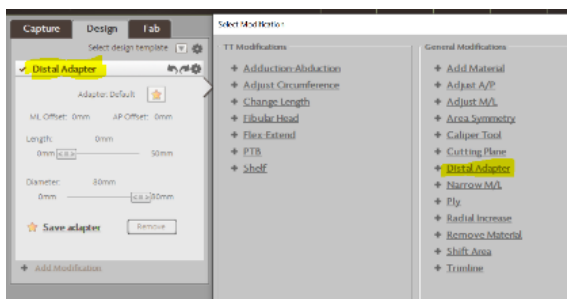
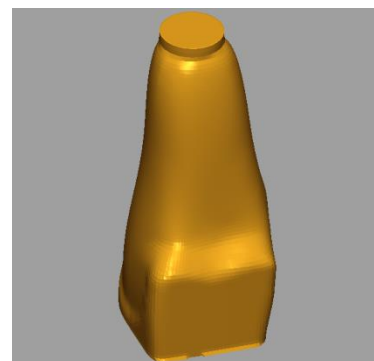
3D tulostettu sääriproteesin sovitinosa ja sen laminointi

Tämä työkortti on osa Opinnäytetyötä, jonka ovat tehneet Sampsa Singh ja Miika Utriainen. Tässä liitteessä käydään läpi työvaiheet ja menetelmät, kuinka alaraajaproteesin holkin voi valmistaa täysin ilman kipsiä käyttäen apuna 3D tulostusta. Ohje on tarkoitettu opiskelijalle, joka hallitsee perinteisen holkin laminoinnin ja tuntee mallinnusohjelmat kuten Omegan ja 3D tulostamisen perusteet. Holkin valmistuksessa käytetään Pin Lock tyyppistä holkin tappilukkomekanismia (Otto Bock). Ohjelmat, joita käytetään tulostettavan mallin luomiseen ovat Omega, VX elements (creatorm3d.com), sekä CreatWare (creatbot.com). Tämän lisäksi tarvitaan 3D skanneri ja 3D tulostin. Mallityössä on käytetty Creaform skanneria ja Creatbot tulostinta. Menetelmä on todettu toimivaksi harjoitustyöksi. Tämän tyyppistä sovitinosaa ei ole testattu käyttäjällä, eikä takeita sen kestävyydelle ole.

Tiivistyksen vuoksi tässä työkortissa ohitamme sakannaus vaiheen sekä Omegassa tapahtuvat holkin yksilölliset muokkaukset.

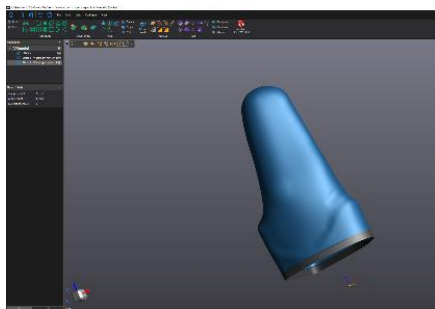
Mallinnus

Tärkeässä roolissa tässä työmenetelmässä on holkin mallinnus. Jotta saadaan tulostettua halutun muotoinen sovitinosa, tulee tynkä skannata ja halutut muokkaukset tehdä esimerkiksi Omega mallinnus ohjelmalla. Omegan lisäksi mallia käsitellään VX elements -ohjelmassa sekä CreatWare -slicerissa.

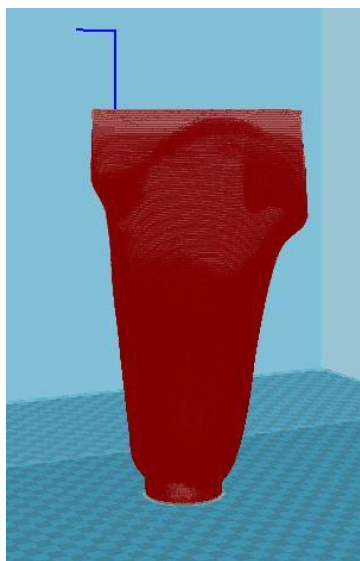


Omega -ohjelmassa lisäämme normaalien muokkausten lisäksi tulostusta ja adapteria varten pienen sylinterin tai "kiekon" tyngän distaalipäähän. Sylinteri saadaan lisäämällä malliin "Distal Adapter" jonka halkaisija on 49 mm ja korkeus 10 mm. Proteesin linjaus tulee ottaa huomioon, sillä sylinteri määrittää paikan johon holkin adapteri kiinnitetään.

Jos komponenttien kiinnittämisessä käytetään laminaatti ankkuria ("lamination anchor") tämä työvaihe jätetään pois ja tulostus tehdään mahdollisimman vähäisten tukimateriaalien kanssa. Sanottakoon että mitä korkeampi "kaulus" on trimmilinjojen yläpuolella sitä helpompia tulevat työvaiheet ovat, mutta tulostus aika on pidempi. Sopiva korkeus on n. 5 cm.



VX elements ohjelmaa käytetään, jotta mallille saadaan pakkuus. Shell komennolla luodaan tulostettavalle holkille paksuutta 1,2 mm. Lujuutta holkille saadaan hartsin valu vaiheessa, tässä vaiheessa on järkevää tulostaa mahdollisimman ohut tuloste tulostuksen nopeuttamiseksi. VX elementsissä voidaan tehdä vielä muita tarkasteluja kuten mallin korkeuden muokkaamista.



Tulostus

CreatWare on Slicer -ohjelma, jossa valmistellaan malli tulostusta varten. Tärkeimmät tulostusasetukset ovat vasemmalla olevassa kuvassa merkattuna. (Huomioi: Creatware V6.5.2., vanhemmassa versiossa perimeters saattaa olla "2".) Toimivaksi materiaaliksi holkin tulostamiseen on todettu PetG eli Polyetyleenitereftalaatti. Tukimateriaaleja ei tarvitse käyttää, ellei holkin muoto sitä vaadi. On hyvä tapa tarkistella "layer view" näkymästä suuttimen reittiä ja varmistaa ettei tulosteta esimerkiksi ylimääräisiä tukimateriaaleja tai täyttää holkin sisään. Tulostusajan tulisi tässä kohtaa olla oikeilla asetuksilla n. 5 tuntia. Huomaa, että sovitinosa on tulostettava samassa asennossa, kuin vierellä olevassa kuvassa näkyy, sillä ylhäältä päin tulostava printteri ei pysty tulostamaan tyhjän päälle.

Tulostukseen valmista g-code-tiedostoa ei voi enää slicerissa muokata vaan uudet asetukset tulee tehdä uudestaan avatulle mallille. Tulostin valmistellaan niin että varmistetaan sen syöttävän oikeasta suuttimesta oikeaa filamenttia sekä levittämällä tulostusalustalle liimaa, jotta tuloste pysyy alustassa kiinni koko tulostuksen ajan. G-code tiedosto syötetään tulostimeen ja tulostus käynnistetään.

Valmis onnistunut tuloste otetaan tulostimesta ja siivotaan tulostusalusta. Tulosteesta voidaan leikata kerrosten myönteisesti distaalipäässä olevasta sylinteristä niin monta kerrosta pois, että jäljelle jää vaakasuora reunus, jonka päälle adapteri ja dummy asetuu.

Basic	Advanced	Plugins	Start/End-GCode
Quality			
Layer height (mm)	0.25		
Extrusion width (mm)	0.4		
Perimeters	1		
Flow (%)	100		
Fill			
Top layers	0		
Bottom layers	0		
Fill Density (%)	0		
Speed and Temperature			
Print speed (mm/s)	50		
Printing temperature (C)	210		
2nd nozzle temperature (C)	210		
Default main extruder	First extruder		
Bed temperature (C)	0		
Chamber temperature (C)	0		
Close bed after layer	100		
Support			
Support type	None		
Overhang angle for support (deg)	40		
Fill amount (%)	20		
Platform adhesion type	Raft		
Support dual extrusion	Both		

Sovitus



Tulostettua sovitinosaa voi sovittaa asiakkaalle, mikäli haluaa varmistaa tämän istuvuuden. Holkista tulee hioa trimmilinjat halutulle korkeudelle ja siistiä reunat niin, ettei ne ole teräviä. Tulostettua sovitinosaa on mahdollista muokata kuumalla ilmalla paikallisesti, mikäli esimerkiksi jokin luun pää luo painealueita. Läpinäkyvä PetG filamentti mahdollistaa painealueiden tarkastelun holkin läpi (3DJake).

Laminointi on mahdollista tehdä holkille, josta on trimmilinjat jo hiottu mutta seuraava työvaihetta helpottaa huomattavasti, mikäli laminointi tehdään uudestaan tulostetulle holkille, jossa on korkeampi "kaulus".

Laminoinnin valmistelu

Jotta holkista saadaan tarpeeksi vahvarakenteinen sekä adapteri kiinnitettyä, tehdään tulostetun holkin päälle laminointi. Laminoinnin valmistelu tulee tehdä huolellisesti, jotta hartsi ei pääse holkin sisään, joka aiheuttaisi töiden alusta aloituksen.



Ensimmäinen vaihe on adapterin kiinnittäminen holkin päässä jo aiemmin avattuun reikään sekä distaalipään tilkitseminen. Adapteri tulee valmistella kuten perinteisessäkin valussa, mutta vielä erityisen tarkasti; totesimme että sinitarraa kannattaa laittaa lukkomekanismin asennuksessa käytettävän sovitinkappaleen ja adapterin väliin, jotta sieltä ei valu hartsia holkin sisään. Matala, vaakasuora reunus helpottaa adapterin asettelua. Adapterin kiinnityksessä voi käyttää kuumaliimaa ja venyvää teippiä, jotta "saumasta" saa siistin ja varmasti tiiviin. Valun alta teippauksia ei näy, mutta muodon tulee olla siisti.



Seuraavaksi sovitinosa täytetään, jotta valua tehdessä tulostettu muovi ei painu kasaan ja muuta muotoa, samalla saadaan rautatanko istutettua holkin sisään tukevasti. Holkin sisälle laitetaan muovipussi, joka täytetään lasipuhalluskuulalla, on tärkeää, että kuulat ja muovipussi painautuu pohjasta sakka sovitinosaan vasten. Harjateräs upotetaan pystysuoraan holkin sisään. Kuulien yläreuna tulee olla n. trimmilinjojen korkeudella ja trimmilinjoista ylimääräistä korkeutta olisi hyvä olla n. 4 cm.



Lasikuulat suljetaan väliaikaisesti holkin sisään, jotta holkin voi kääntää ympäri ja laminoinnin voi tehdä. Tähän käytetään pieni määrä uretaania mielellään enemmän huokoista laatua (huomaa uretaanin laajeneminen). Lasikuulat ja uretaani eivät saa koskettaa, joten kuulien päälle tulee uusi muovipussi. Rautatanko tulee tulla pussin läpi, jotta uretaani tarttuu siihen lujasti. Uretaani kaadetaan muovin päälle ja annetaan kohota ylöspäin niin, ettei se muodosta ulkonevaa reunusta holkin reunoille. Uretaanipussin ja holkin reuna tulee teipata tiukasti, jotta hartsi ei sieltäkään pääse holkin sisään (tässäkin tulee huomioida trimmilinjat, sillä teippi jää tulosteen ja hartsin väliin). Holkin aihio tulee kääntää varovasti ja

varmistaa ettei sen sisällä ole tyhjää tilaa, harjateräs ja distaalipään adapteri tulee olla jäämäkästi paikoillaan.

Laminointi



Laminointi on työvaihe, jossa tulostettua sovitosaa jatketaan perinteisellä menetelmällä, jotta saadaan vahva ja kestävä tuote. Samalla holkin adapteri kiinnitetään sovitosaan. Valmisteluihin kuuluu yhden polyvinyyliasetaatti, eli PVA-kalvon kostuttaminen sekä aihion kiinnittämien alipainestatiiviin. Muovin päälle vedetään yhteensä 6-8 kerrosta NewGlass sukkaa kireästi ilman ryppyjä. Sukat tulee teipata kiinni niin, etteivät ne pääse liikkumaan. Näiden päälle vedetään n. 10 min kostunut PVA kalvo niin kireästi, ettei ryppyjä jää. Tätä seuraa hartsin sekoittaminen ja värin valitseminen. Hartsi valetaan alipaineessa, imujen ei tarvitse olla kovinkaan tehokkaat vaan n. 0.2 Bar riittää. Tämä varmistaa, että muotti ei painu kasaan vaan muoto pysyy toivotuna. Kun laminointi on tehty ja hartsi on levittynyt tasaisesti, sen annetaan jähmettyä, kunnes kova ja viileä.

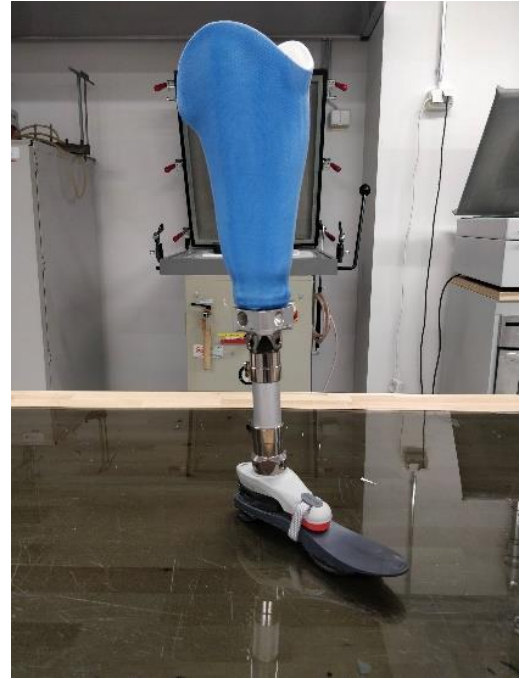
Purku



Holkin ympäriltä puretaan ensin uretaani "korkki" joka pitää sisällään lasikuulat. Lasikuulat on tarkoitus käyttää uudelleen, joten purkaessa tulee olla varovainen, jotta lasikuulat saadaan talteen. Uretaani täyttö lähtee parhaimmillaan irti, kun teipit purkaa sen ympäriltä mutta voi olla, että holkista täytyy poistaa materiaalia sovitosan viimeistelylinjan mukaisesti. Lasikuulat kaadetaan takaisin niiden astiaan. Holkin adapterin ruuvit hiotaan esiin ja lukkomekanismin sovintokappaleen muovinen ruuvi irrotetaan, jotta loput saadaan purettua holkin sisältä. Holkin distaalipää hiotaan tasaiseksi niin että tappilukkomekanismi asettuu tasaisesti sen päälle

Viimeistely

Holkin valmistuksen viimeistelyvaihe on viimeistelylinjojen löytäminen ja niiden pehmeäksi hiominen. Mikäli viimeistelylinjoja täytyy laskea toivottua alemmaksi, voi reunaa taivuttaa ulospäin lämpömuokkauksen avulla. Adapteriin, eli sääriproteesin sovitinosaan laminoinnissa kiinnitettyyn metallirenkaaseen kiinnitetään tappilukkomekanismi, jotta sovitinosa on puettavissa. Muut proteesin komponentit eli urospyramidi, putkiadapterit, putki ja jalkaterä kiinnitetään, jolloin proteesi on täydellinen. Tämän jälkeen proteesi on valmis testattavaksi ja linjauksia vaille valmis.



Lähteet

3D Jake, PETG Clear filamentti, Saatavana: <<https://www.3djake.fi/3djake/petg-clear>> luettu 5.10.2021.

CreatBot, Creatware -sovellus, Saatavana: <<https://www.creatbot.com/en/download.html>>

Creatform. VX elements. Saatavana: <<https://www.creaform3d.com/en/metrology-solutions/3d-applications-software-platforms>> luettu 20.10.2021.

Otto Bock. Tappilukko, pin-lock system, Saatavana: <<https://www.ottobock.co.uk/prosthetics/lower-limb-prosthetics/sockets-and-liners/pin-lock-system/>> luettu 5.10.2021.