

# **3D-tulostuksen hyödyntäminen proteesien valmistuksessa**



Ammattikorkeakoulututkinnon opinnäytetyö

Riihimäen kampus, Konetekniikka, insinööri (AMK)

Syksy, 2020

Jesse Ruuth

Konetekniikka, insinööri (AMK)  
Riihimäen kampus

---

<b>Tekijä</b>	Jesse Ruuth	<b>Vuosi</b> 2020
<b>Työn nimi</b>	3D-Tulostuksen hyödyntäminen proteesien valmistuksessa	
<b>Työn ohjaaja/t</b>	Jaakko Vasko	

---

## TIIVISTELMÄ

Työn tavoitteena on kehittää lisäävällä valmistusmenetelmällä käsiproteesi ja selvittää, pystyykö siihen kehittämään liikkuvat sormet. Työhön kuului perehtyminen lisäävään valmistusmenetelmään ja materiaaleihin.

Opinnäytetyössä käsitellään lisäävän valmistusmenetelmän seitsemän eri metodia. Proteesin valmistusmenetelmäksi näistä valikoitui materiaalin pursotusmenetelmä ja työssä käsitellään kyseisen menetelmän yleisimmät käytössä olevat materiaalit ja niiden ominaisuudet. Työssä käydään lävitse proteesien historia ja samalla selviää, minkälaisia materiaaleja historian aikana proteeseissa on käytetty. Proteesin suunnittelua ja valmistusta käsitellään ja pureudutaan suunnittelussa tullessiin ongelmiin ja niiden vaikutukseen proteesin valmistuksessa.

Työssä selviää, miten monet vaatimukset vaikuttavat suunnittelun lopputulokseen huomattavasti. Työssä ei päästy toivottuun lopputulokseen, mutta saatiin selvitettyä, että liikkuvilla sormilla varustetun proteesin valmistus on mahdollista.

**Avainsanat** 3D-tulostus, käsi proteesi, proteesi

**Sivut** 41 Sivua

Mechanical Engineering  
Riihimäki

---

**Author** Jesse Ruuth **Year** 2020

**Subject** 3D-printing utilization in prostheses manufacturing

**Supervisors** Jaakko Vasko

---

ABSTRACT

The aim of this work was to develop a hand prosthesis with an additional manufacturing method and to find out whether it were possible to develop moving fingers in to it. The work started by examining additive manufacturing methods and materials.

This thesis deals with seven different methods of additive manufacturing. The method I chose for prosthesis production here the material extrusion method. The most common materials used in this method and their properties are discussed in this paper. This thesis goes through the history of prostheses and at the same time examines materials that have been used in prostheses throughout history. The design and manufacture of a prosthesis is discussed and the problems encountered in the design and their impact on the manufacture of the prosthesis are addressed.

This project showed how several requirements significantly affect the result of design. At this project the desired result was not achieved, but i managed to find out that a prosthesis with moving fingers is possible to be produced.

**Keywords** 3D-printing, hand prosthesis, prosthesis

**Pages** 41 pages

# SISÄLLYS

1. JOHDANTO.....	1
2. LISÄÄVÄ VALMISTUSMENETELMÄ .....	2
2.1. Materiaalin pursotus (Material Extrusion).....	3
2.2. Materiaalin ruiskutus (Material Jetting) .....	4
2.3. Sidosaineruiskutusmenetelmä (Binder Jetting) .....	5
2.4. Laminointi (Sheet Lamination) .....	6
2.5. Nesteen fotopolymerisointi (VAT Photopolymerization) .....	7
2.6. Jauhepetimenetelmät (Powder Bed Fusion).....	8
2.7. Suorakerrostusmenetelmä (Directed Energy Deposition).....	9
3. MATERIAALIT .....	11
3.1. Polylaktidi (PLA).....	11
3.2. Akryylnitriilibutadieenistryreeni (ABS).....	11
3.3. Polyetyleenitereftalaatti (PETG).....	11
3.4. Nylon .....	12
3.5. Akryylistyreeniakrylonitriili (ASA).....	13
3.6. Thermo Plastic Elastomer (TPE/TPU) .....	13
4. PROTEESI.....	14
4.1. Mikä proteesi on? .....	14
4.2. Proteesien historia .....	14
5. PROTEESIN VALMISTUS .....	20
5.1. Suunnitteluvaihe .....	20
5.2. Käden rakenne ja mekaaniset ratkaisut.....	23
5.2.1. Käden osat .....	23
5.2.2. Sähköiset komponentit .....	29
5.3. Suunnittelun ongelmat.....	32
6. POHDINTAA .....	34
LÄHTEET .....	35

## 1. JOHDANTO

Työn tavoitteena on selvittää, miten lisäävää valmistus menetelmää voidaan hyödyntää proteesien valmistuksessa. Työ on oma projekti, jossa on tarkoitus valmistaa käsiproteesi, jolla pystyy tarttumaan esineeseen. Työn tarkoitus on keskittyä Myo-elektrisen käden mekaniikan kehittämiseen ja selvittää, minkälaista on kehittää sähköisesti liikkuvat sormet proteesiin.

Myo-elektrinen käsi auttaisi monia raajansa menettäneitä tai ilman raajaa syntyneitä ihmisiä tavallisessa arjessa. Myo-elektrisiä käsiä on valmistettu maailmalla, mutta niiden valmistuskustannukset ovat nousseet kymmeneen tuhansiin euroihin. Lisäävä valmistusmenetelmä voisi alentaa valmistuskustannuksia ja tarjota useammalle ihmiselle mahdollisuuden ostaa proteesi, joka pystyisi avustamaan arkisissa asioissa.

Opinnäytetyössä käsitellään eri lisäävän valmistuksen menetelmät, materiaalin pursotusmenetelmän yleisiä materiaaleja ja niiden tulostettavuutta. Työssä perehdytään proteesien valmistuksen historiaan ja miten valmistus on kehittynyt aikojen saatossa. Lopussa käsitellään, miten proteesin valmistus etenee ja minkälaisia ongelmia tuli eteen proteesin valmistuksessa.

## 2. LISÄÄVÄ VALMISTUSMENETELMÄ

Materiaalia lisäävä valmistusmenetelmä (Additive Manufacturing, AM) tunnetaan myös nimillä 3D-tulostus ja pikavalmistus. Menetelmää on käytetty jo 1980-luvulta lähtien ja sitä käytettiin lähinnä tuotekehitysvaiheessa prototyyppien valmistukseen. Menetelmää käytetään vieläkin prototyyppien valmistuksessa, mutta menetelmä on laajentunut laajemmin teollisuudessa käytettäväksi. Menetelmä tunnetaan paremmin nimellä 3D-tulostus sekä kuluttajapuolella että teollisuudessa. Lisäävällä valmistusmenetelmällä saadaan tehokkaasti tehtyä vaikeitaakin kappaleita, joiden valmistus ei onnistu perinteisin menetelmin. (Alonen, Alonen, Hietikko, 2016, s. 5)

Perinteiset menetelmät poistavat leikatusta aihioista materiaalia valmistukseen kappaleen, kun taas lisäävän valmistusmenetelmän prosessissa nimensä mukaan lisätään materiaalia. Menetelmässä tulee vähän tai ei ollenkaan hukkamateriaalia, mikä laskee valmistuskustannuksia. Lähes kaikki lisäävän valmistusmenetelmän prosessit jakavat yhtenäisen piirteen, niissä lisätään materiaalia kerroksittain ja liitetään toisiinsa. Jokaisessa menetelmässä kappaleen valmistus aloitetaan kolmiulotteisesta tietokonemallista, joka voidaan luoda CAD-ohjelmistolla, 3D-skannaamalla tai magneettikuvauksella. Malli pitää muuttaa ennen tulostusta sellaiseksi, että sitä voidaan prosessoida edelleen. Tiedosto muutetaan yleisimmin tällä hetkellä pintaverkkomuotoiseen STL-formaattiin. STL-tiedosto formaatin yleisiä ongelmia ovat mallin pintaverkossa esiintyvät virheet, sekä se, että kyseessä on pintamalli. Monimateriaalitulostuksen yleistymisen myötä tulostustiedostosta tarvitsee löytyä enemmän 3D-mallitietoa, jossa mallin ominaisuuksia voidaan esittää kolmiulotteisesti pikselitasolla pelkän pintatiedon sijaan. Tämän takia STL-tiedostolle on tulevaisuudessa tulossa korvaava 3MF-muotoinen tiedosto, joka sisältää 3D-mallista enemmän tietoa. (Alonen, Alonen, Hietikko, 2016, s. 5-6)

ASTM F2792 määrittelee lisäävän valmistuksen prosessiksi, jota käytetään teknologiaan liittyvissä sovelluksissa, mikä lisää materiaalia 3-ulotteisen digitaalisen mallin pohjalta kerros kerrokselta. Menetelmä eroaa vanhoista menetelmistä, jotka poistavat materiaalia työstettävästä aihioista valmistuksen lopullisen kappaleen. Lisäävä valmistus nimensä mukaan lisää materiaalia kerros kerrokselta valmistuksen lopullisen kappaleen. (Alonen, Alonen, Hietikko, 2016, s. 5)

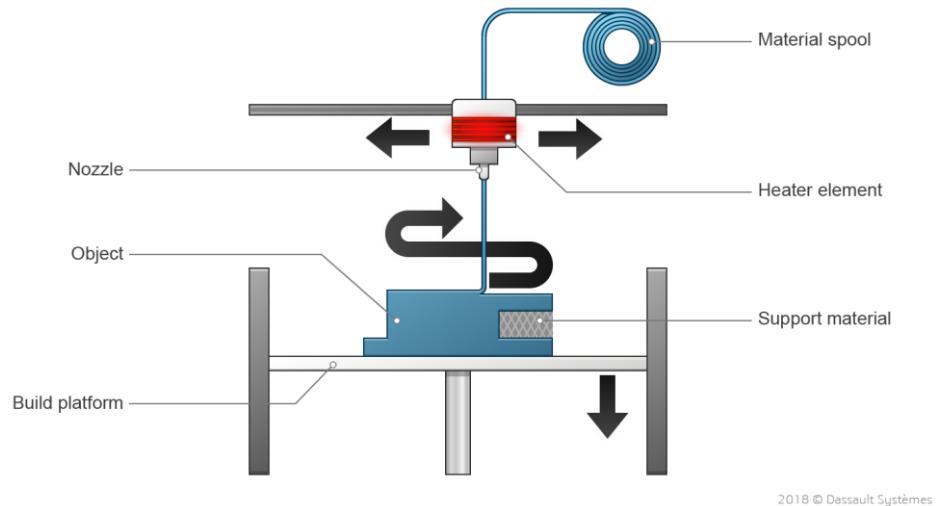
ASTM F2729 määrittelee 3D-tulostuksen menetelmänä, jossa käytetään tulostuspäätä, suutinta tai muuta tulostukseen viittaavaa menetelmää lisäämään materiaalia. 3D-tulostus on synonyymi sanalle lisäävä valmistus, jolla yleensä tarkoitetaan halvempia laitteita, joiden valmistus kapasiteetti on rajallisempi. (Alonen, Alonen, Hietikko, 2016, s. 5)

## 2.1. Materiaalin pursotus (Material Extrusion)

Materiaalin pursotusmenetelmässä (Kuva 1) materiaalia pursotetaan lämmitetyn suuttimen läpi tulostusalustalle ja suuttimia voi olla useita. Materiaalin täytyy olla osittain kiinteässä muodossa pursotettaessa ja sen täytyy kiinteytyä pursotettuun muotoon. Kerros kerrokselta materiaali pursotetaan vaakatasossa liikkuvalla tulostinpäällä edellisen kerroksen päälle, muodostaen valmiin kappaleen. Menetelmän tarkkuus määräytyy käytettyjen askelmoottorien, ohjauskoodin ja suuttimien perusteella. Menetelmässä materiaaleina toimii yleensä erityyppiset termoplastit ja elastomeerit, jotka ovat pelletti- jauhe- tai lankamuodossa. Yleisimpiä materiaaleja, joita menetelmässä käytetään ovat ABS, PLA, PTEG ja Nylon, niitä on saatavilla monia eri värejä. (Alonen, Alonen, Hietikko, 2016, s. 19-20)

Tulostimelle luodaan virtuaalisesti G-koodi, jonka pohjalta tulostin muodostaa prosessin aikana kappaleen. G-koodi luodaan virtuaalisesti tietokoneella tulostusohjelmassa, johon tuodaan kappaleesta 3D-malli, jota halutaan tulostaa. Ohjelmassa voidaan määrittellä mm. moottorien koordinaatit (XYZ), joiden pohjalta moottorit liikuttavat suutinta, tulostusnopeuden, tulostustarkkuuden, suuttimen- ja alustan lämpötilan, kerros- ja seinämäpaksuuden sekä syötettävän langan määrän. Ohjelmassa määritellään myös tukimateriaalin tarve, jotta kappaleen rakenne ei kärsi. Tukimateriaalia tarvitsevat piirteet, jotka ovat tyhjän päällä ja joilla ei ole tukea tulostusalustasta ylöspäin katsottaessa. Tukimateriaalin voi suunnitella jo kappaleeseen suunnitteluvaiheessa CAD-mallinnus ohjelmassa, jolloin ei tarvitse käyttää tulostusohjelman valmiiksi määrittelemiä tukiseinämiä. G-koodin perusteella tulostin piirtää kappaleen kerros kerrokselta muodostaen valmiin kappaleen. Tulostimissa on yleensä mikrokontrolleri, joka toimii komentojen prosessoijana reaaliaikaisesti. (Alonen, Alonen, Hietikko, 2016, s. 19-20)

3D-tulostimia on erilaisia malleja, toisissa tulostusnauhaa syöttävä moottori on sijoitettu tulostuspään viereen ja malleja, joissa tulostusnauha tuodaan kauempaa ohjausletkua pitkin suuttimelle. Eroja löytyy myös siinä, miten x-, y- ja z-akseleita liikutetaan. Nämä erot vaikuttavat maksimitulostusnopeuden ja kiihtyvyyden kautta tulostusnopeuteen kuluttaja tason laitteissa. Teollisuustason laitteissa on käytössä paremmat johteet ja tehokkaammat moottorit, joiden takia tulostuspään massalla ei ole suurta vaikutusta tulostusnopeuteen. Tämä menetelmä on yleisin käytetty AM-menetelmä kuluttajatason laitteissa. Menetelmä on eri AM-menetelmistä halvin, hitain, ja yksinkertaisin. (Alonen, Alonen, Hietikko, 2016, s. 19-20)



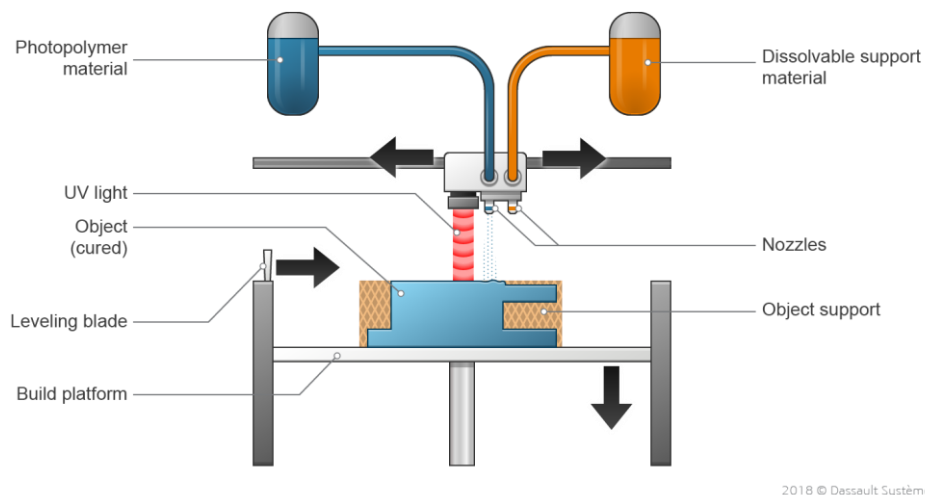
Kuva 1. Materiaalin pursotusmenetelmän prosessin kuvaus (Dassault Systems, 2018)

## 2.2. Materiaalin ruiskutus (Material Jetting)

Materiaalin ruiskutusmenetelmä (Kuva 2) muistuttaa mustesuihkutulostusta. Menetelmässä suutinpää liikkuu ja ruiskuttaa materiaalia suutinpään liikkussa tulostusalueen yli. Materiaaleina toimivat yleensä UV-kovettava muovi ja vaha. Tukimateriaalina voidaan käyttää geelimäistä materiaalia. (Alonen, Alonen, Hietikko, 2016, s. 22)

Tulostusnopeuden nostamiseksi ja monimateriaalitulostuksen mahdollistamiseksi käytetään monisuutintulostuspäitä. Monisuutintulostuspäillä voidaan tulostaa montaa materiaali samaan aikaan, joka mahdollistaa materiaalien ominaisuuksien muuttamisen, esimerkiksi jäykästä joustavaksi. Monisuuttimien ansiosta kappale voidaan valmistaa kokonaan tulostimessa, koska niiden ansiosta saadaan tulostettua montaa eri materiaalia saman tulostusprosessin aikana. Esimerkiksi laskettelulasit saadaan valmistettua värjättyine linssineen ja kumipäällysteineen saman prosessin aikana.



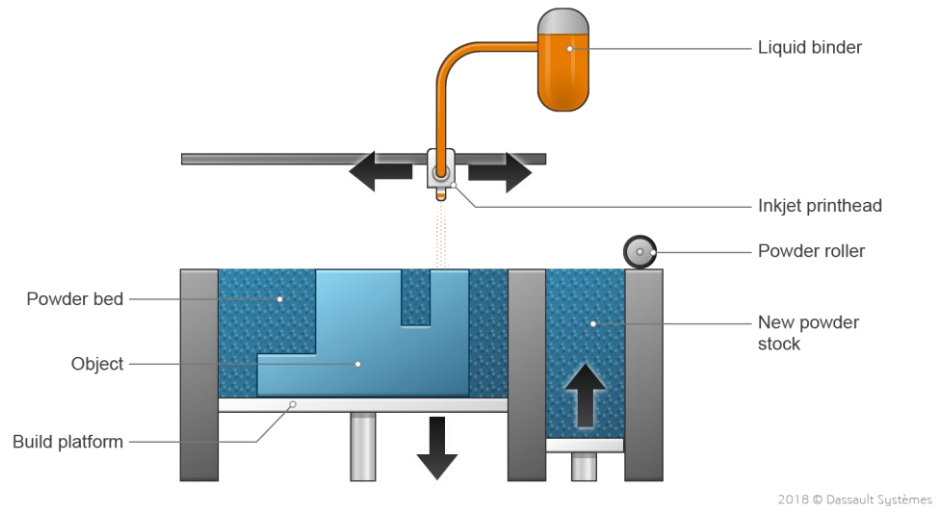


Kuva 2. Materiaalin ruiskutusmenetelmän prosessin kuvaus (Dassault Systems, 2018)

### 2.3. Sidosaineruiskutusmenetelmä (Binder Jetting)

Sidosaineruiskutusmenetelmä (Kuva 3) muistuttaa sekä jauhepetimene-  
telmää että materiaalin ruiskutusta. Tulostusprosessin aikana neste-  
mäistä sidosainetta ruiskutetaan valikoivasti kerros kerrokselta käyttäen  
jauhepetiä tulostusalustana. Toimintaperiaate muistuttaa perinteistä  
mustesuihkutulostinta. Kappale ei tarvitse muuta tukirakennetta, koska  
jauhepeti toimii kappaleen tukirakenteena. Jauhetta levitetään kerros  
kerrokselta mekaanista levittäjää käyttäen tulostustason laskettua. Joka  
kerroksessa, kun jauhe on levitetty, 3D-mallista tulostetaan sidosaineella  
kappaleen siivutettu läpileikkaus jauhepedin päälle. Joissakin prosessin  
omaavissa laitteissa käytetään uv-kovettuvaa sidosainetta nopeuttamaan  
materiaalin kovettumista. Tätä prosessia jatketaan niin kauan, että jokai-  
nen tulostustyön kerros on tulostettu. Joissain aineissa on sidosaine itses-  
sään, jolloin tulostin levittää sidosaineen aktivoivaa liuotainainetta selektiiv-  
isesti. Väriainetta levitetään joissakin järjestelmissä sidosaineen mukana  
tai sen jälkeen, se mahdollistaa värillisten osien tulostamisen. (Alonen,  
Alonen, Hietikko, 2016, s. 24)

Prosessissa voidaan käyttää melkein mitä materiaaleja tahansa esim.  
muoveja, keraameja, metalleja, ja hiekkaa. Jotkut materiaalit voivat tar-  
vita ympäristön, mikä on suojattu (esim. suojakaasulla täytetyn kammio).  
Metallitulosteisiin voidaan käyttää isostaattista kuumapuristusta (HIP),  
jolla saadaan kasvatettua materiaaliheijettä. Yleensä HIP:iä käytetään  
vasta sintrauksen jälkeen. Menetelmä on nopeampi kuin moni muu tulos-  
tusmenetelmä, mutta valmistettavat kappaleet tarvitsevat aina jälkikäsit-  
telyä ja se vie aikaa. Lisäksi kappaleiden kestävyys on huono varsinkin toi-  
minnalisissa osissa. (Alonen, Alonen, Hietikko, 2016, s. 24-25)

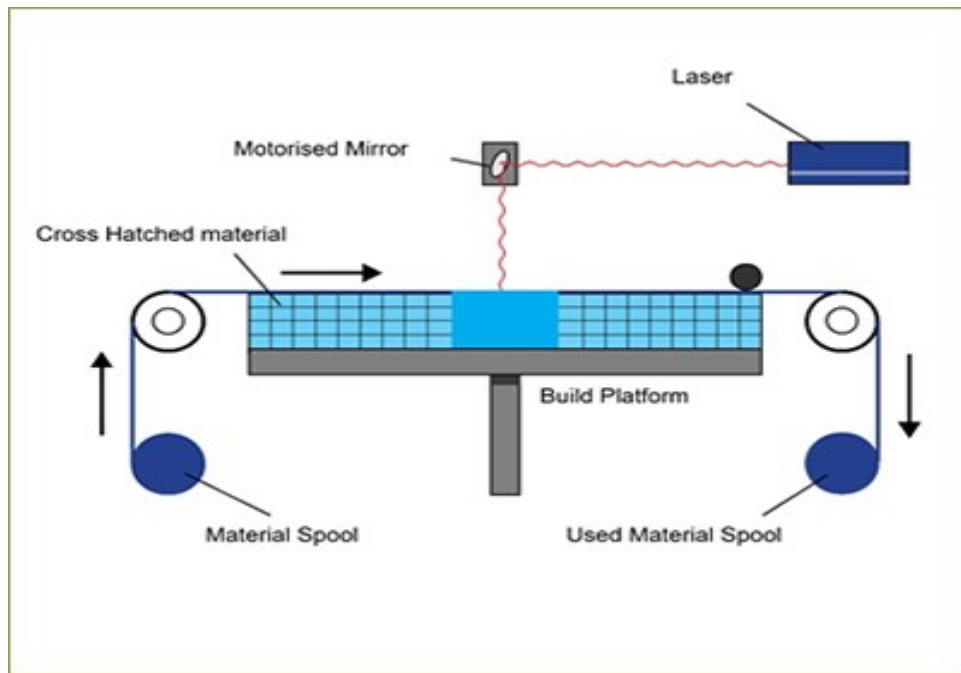


Kuva 3. Sidosaineruiskutusmenetelmän prosessin kuvaus (Dassault Systems, 2018)

#### 2.4. Laminointi (Sheet Lamination)

Laminointi menetelmä (Kuva 4) on prosessi, jossa yhdistetään materiaalikalvoja toisiinsa kappaleen muodostamiseksi. Kalvojen materiaali voi olla melkein mitä tahansa, kuten muoveja, komposiitteja, paperia ja metalleja. Prosessissa sijoitetaan levyjä toistensa päälle ja ne leikataan laserilla tai veitsellä muotoonsa. Levyt liitetään toisiinsa liimalla tai esimerkiksi ultraäänihitsauksella. Prosessin toimintajärjestys ei ole kiinteä se voi vaihdella leikkauksen, sijoittelun ja liittämisen välillä. Prosessia käytettävät kalvot voivat olla valmiita arkkeja esimerkiksi A4-kokoisia papereita tai prosessin aikana rullasta tulevia koneen leikkaamia arkkeja. (Theseus/Korpela Markus, 2016, s. 36)

Valmistusmenetelmän etuja ovat laajat materiaalivalikoimat. Lisäksi materiaaleja on helppo käsitellä, koska kappaleisiin on mahdollista lisätä värejä, kustannukset ovat edulliset sekä ne soveltuvat hyvin isojenkin kappaleiden valmistukseen. Valmistusmenetelmän haitat ovat, että onttoja kappaleita ei voida valmistaa, Z-suuntaisten seinämien paksuus on rajoittunut ja menetelmässä tulee huomattavasti materiaalihukkaa sekä jälkikäsittelyn tarvetta. (Korpela Markus, 2016, s. 36)

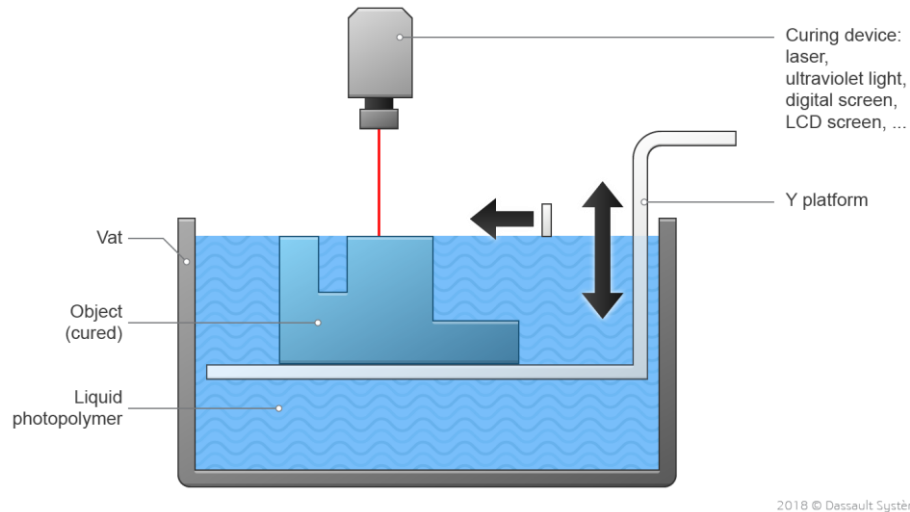


Kuva 4. Laminointimenetelmän prosessin kuvaus (Iboro, 2020)

## 2.5. Nesteen fotopolymerisointi (VAT Photopolymerization)

Nesteen fotopolymerisointi menetelmässä (Kuva 5) nestemäistä fotopolymeriä kovetetaan UV-laserin avulla tai DLP-projektorin avulla. Menetelmässä materiaalina toimii nestemäinen hartsi, joka kovettuu altistuksessaan UV-valolle ja fotopolymeerejä. Menetelmän prosessissa kappale tulostetaan alustan päälle tai alapuolelle. Laitteissa, joissa tulostetaan kappale alustan alapuolelle, tulostusalusta laskee säiliön pohjalle ja lähtee nousemaan kerros kerrokselta ylöspäin. Hartsineste kovetetaan UV-laserilla tai projektorilla selektiivisesti säiliön pohjan läpi. Laitteet, joissa kappale tulostetaan alustan yläpuolelle, alusta lähtee laskemaan kerros kerrokselta alaspäin ja kerros tasoitetaan kappaleen päällä kulkevalla lassalla. Nämä menetelmät kulkevat nimellä Stereolitografia (SLA tai SL). (Alonen, Alonen, Hietikko, 2016, s. 28-31)

Kappaleiden lopullinen kovetus tehdään UV-valouunissa, jossa kappale saa lopullisen lujuutensa. Menetelmällä saadaan tulostettua erittäin tarkkoja kappaleita, joiden pinnanlaatu on hyvä verrattuna materiaalia purstottavaan menetelmään. Menetelmää käytetään lääketieteessä, sillä saadaan valmistettu esimerkiksi kuulolaitteiden runkoja, jotka istuvat täysin käyttäjän korvaan. Menetelmässä käytettävät materiaalit ovat kalliita ja materiaalien ominaisuudet ovat heikommat kuin perinteisissä kesto-  
muoveissa. (Salla Tuomas, 2015, s. 9-11)



Kuva 5. Nesteen fotopolymerisointi menetelmän prosessinkuvaus (Dassault Systems, 2018)

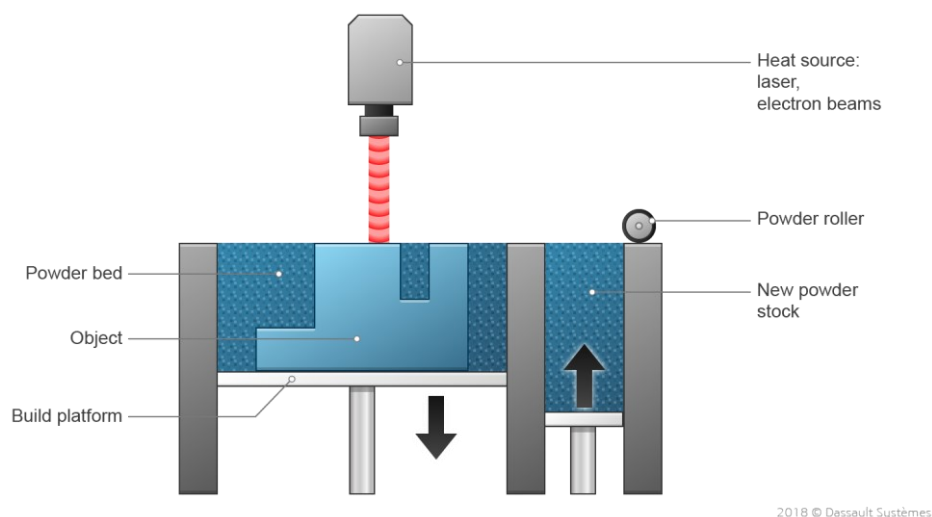
## 2.6. Jauhepetimenetelmät (Powder Bed Fusion)

Jauhepetimenetelmän prosessissa (Kuva 6) jauhepedin alueita liitetään yhteen lämpöenergialla selektiivisesti. Menetelmä on tällä hetkellä yleisin ja vanhin metallitulostusprosessi. 1971 on rekisteröity ensimmäinen DMLS (Direct metal laser sintering) menetelmää koskeva patentti. (Alonen, Alonen, Hietikko, 2016, s. 31-32)

DMLS (Direct Metal Laser Sintering) on ensimmäinen yleinen metallin tulostusmenetelmä ja se on kehitetty Suomessa. Metallipulveri sintrataan kiinteäksi käyttäen CO<sub>2</sub>-laseria. Valmis kappale tarvitsee jälkikäsittelyä ja jälkikäsittelymenetelmänä käytetään kuulapuhallusta. Menetelmää käytetään prototyyppien ruiskuvalutuotannossa ja prototyyppien painevalutuotannossa, menetelmällä valmistetaan kumin vulkanointimuotit ja sitä käytetään myös komponenttien valmistuksessa. Menetelmän etuja ovat, että se on nopea ja automaattinen menetelmä. Lisäksi työvaiheita on vähän ja se on riittävän tarkka muotin valmistukseen. Menetelmän rajoituksia on valmistettavan kappaleen koko, pinnanlaatu, materiaalin lujuus ja materiaalin huokoisuus. (Alonen, Alonen, Hietikko, 2016, s. 33-34)

SLS (Selective Laser Sintering) menetelmässä ohut pulverikerros kuumentetaan laserin avulla niin, että se sintrautuu edellisen kerroksen päälle. Ylimääräinen pulveri, jota ei sintrata jää kappaleen ympärille ja sisälle, jonka takia menetelmässä ei tarvitse käyttää erillistä tukimateriaalia, kun ylimääräinen pulveri toimii tukimateriaalina. SLS menetelmän etuja on, että tukirakenteita ei tarvitse, jolloin voidaan valmistaa toimivia kokoonpanoja, sekä se, että käytettävissä on useita materiaaleja, jolloin on mahdollista modifioida materiaaliominaisuuksia, kappaleilla on myös hyvä tiiveys. Menetelmän haittoja ovat, että prosessi on hidas, vaihteleva pin-

nan laatu ja kutistumia ei voida välttää, joka vaikuttaa kappaleen tarkkuuteen. Menetelmän käyttö vaatii asian tunteesta, koneiden kustannukset ovat korkeat ja laserista johtuvat toimintaympäristölle asetetut vaatimukset tuovat lisäkustannuksia. (Alonen, Alonen, Hietikko, 2016, s. 34-35)



Kuva 6. Jauhepetimenetelmän prosessin kuvaus (Dassault Systems, 2018)

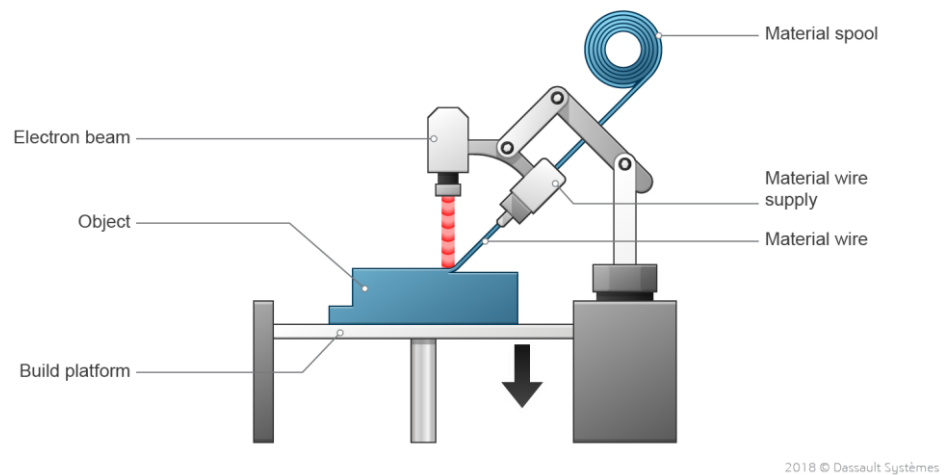
## 2.7. Suorakerrostusmenetelmä (Directed Energy Deposition)

Suorakerrostusmenetelmän prosessissa (Kuva 7) käytetään kohdistettua lämpöenergiaa yhdistämään kappaleet, sulattamalla ja samanaikaisesti sijoittamalla. Laser, elektronisäde tai plasmakaari sulattaa materiaalin kohdistetusti ja tästä käsitteen englannin kielisen nimen kohdistettu lämpöenergia tulee. (Alonen, Alonen, Hietikko, 2016, s. 38-39)

Menetelmän prosessista on olemassa useita variaatioita. Materiaali voi olla jauheen tai langan muodossa ja lämpöenergia voidaan tuottaa laser-, elektronisäteellä tai plasmakaarella. Käytettävistä materiaaleista ja lämmöntuottomenetelmistä löytyy monia valmistajakohtaisia variaatioita, mutta jauhe on materiaalina yleisin ja laser lämmöntuottona. Menetelmällä saadaan mikrorakenteeltaan ja tarkkuudeltaan saman laatuista tuotteita kuin jauhepetimenetelmällä. (Alonen, Alonen, Hietikko, 2016, s. 39)

Menetelmässä ei ole samanlaista tukirakennetta kuin jauhepetimenetelmässä, jossa jauhe toimii tukirakenteena. Tämän takia monimutkaisten rakenteiden tekeminen on haasteellista. Jauhetta käyttävissä järjestelmissä saadaan sekoitettua useampaa eri jauhetta keskenään, jolloin pystytään muuttamaan materiaalien ominaisuuksia. Tämä mahdollistaa kap-

paleen valmistuksen, millä on melto sisus ja kulutusta kestävä pinta. Jauhpetimenetelmään verrattuna suorakerrostusmenetelmässä on toinen selkeä etu tulostusalue, koska materiaalia sulatetaan ja sijoitetaan vain sinne missä sitä tarvitaan. Joissakin variaatioissa ei tarvita suljettua kammiota, koska suojakaasu tulee prosessiin suuttimesta. Prosessi yhdistettynä robottikäsiin mahdollistaa suurien kappaleiden valmistamisen ja korjaamisen. (Alonen, Alonen, Hietikko, 2016, s. 39)



Kuva 7. Suorakerrostusmenetelmän prosessin kuvaus (Dassault Systems, 2018)

### 3. MATERIAALIT

Valitsin materiaalin pursotusmenetelmän (FDM) proteesin valmistus menetelmäksi edullisuutensa ja sen takia, että kyseisen menetelmän omaava laite löytyy itseltä. Tässä kappaleessa käyn materiaalin pursotusmenetelmän yleisimpien materiaalien ominaisuuksia ja käyttö kohteita lävitse. Kappaleessa selviää myös yleiskäsitys materiaalien tulostettavuuden helppoudesta ja vaikeudesta.

#### 3.1. Polylaktidi (PLA)

PLA on toinen suosituimmista 3D-tulostus materiaaleista (ABS-filamentti on toinen). Sitä on helppo tulostaa, se on hajuton, se ei taivu jäähtyesään eikä se vaadi lämmitettyä alustaa. PLA valmistetaan uusiutuvista luonnonvaroista (maissitärkkelyksestä) ja sen takia se on yksi luontoystävällisimmistä tulostusmateriaaleista. PLA-muovista valmistetaan elintarvikepakkauksia ja sitä käytetään karkkikääreissä ja biohajoavissa lääketieteellisissä implanteissa, kuten ompeleissa. PLA:ta tulostettaessa suuttimen lämpötila on 190-230 celsius asteen välissä riippuen valmistajakohteisista suosituksista ja tulostusalustan lämpötila on vastaavasti 0-60 celsiusasteen välissä. (AN-Cadsolutions, n.d.)

#### 3.2. Akrylinitriilibutadieenistryreeni (ABS)

ABS on toinen yleisimmistä materiaaleista, jota käytetään 3D-tulostuksessa. ABS on edullista, jäykkää, kevyttä ja kestävä. Sitä on hankalampi tulostaa kuin PLA:ta, sen kerrostarttuvuus on huonompaa ja se alkaa taipumaan helposti kappaleiden kulumista irti tulostus alustasta. ABS tarvitsee korkeamman suuttimen ja alustan lämpötilan, tulostuksen aikana suuttimen lämpötila on 220-240 celsiusastetta ja alustan lämpötilaksi suositellaan 80-100 celsiusastetta riippuen tulostuslangan valmistajakohteisista suosituksista. ABS:lle suositellaan suljettua 3D-tulostinta, koska liian suuri tulostustilan lämpötilavaihtelu hankaloittaa tulostusprosessia. Kappale alkaa irtoamaan alustasta liian suurten lämpötilan vaihtelujen takia ja kerros tarttuvuus heikkenee huomattavasti. Prosessin aikana materiaali vapauttaa ilmatilaan hajuja ja nanohiukkasia. ABS-muovia käytetään Lego-palikoissa, leluissa, kaukosäätimissä, ajoneuvoissa, ja kaikissa tuotteissa, jotka tarvitsevat kulutuksen kestävyttä. (Suomen 3D, n.d.)

#### 3.3. Polyetyleenitereftalaatti (PETG)

PETG on jalostettu versio PET-muovista, joka soveltuu erittäin hyvin 3D-tulostukseen. PETG:llä on erittäin hyvät lämpö-, mekaaniset sekä sähköiset ominaisuudet sen ansiosta sillä on laaja käyttöala. Sitä käytetään mekaanisissa rakenteissa, joilta vaaditaan kuormituskestävyyttä, hyvää mit-

tapitävyyttä, pientä kitkaa ja kulumiskestävyyttä. Sitä käytetään laakereissa, hammaspyörissä, erilaisissa koneen osissa, lämpömuovatuissa näyttöelineissä, elintarvikkeiden säilytysrasioissa, koneiden erilaisissa suojailevyissä ja lääketieteellisyydessä säilytysastioissa. (Vink, 2019a)

3D-tulostuksessa PTEG:n suosio on kasvanut koko ajan, koska se yhdistää PLA-filamentin helpon tulostettavuuden ja ABS-filamentin lujuuden ja kestävyden. PETG on huomattavasti lujempaa kuin PLA ja se on FDA:n hyväksymä ja se ei ala taipumaan kulmista liiallisen lämpötilan vaihtelujen seurauksena ja tuota hajua, toisin kuin ABS-filamentti. PTEG on 100% kierrätettävä, mutta se ei ole biohajoava. Tulostusprosessissa suuttimen lämpötila on 230-260 celsiusasteen välissä ja tulostusalusta lämpötila on vastaavasti 50-70 celsiusasteen välissä riippuen filamentin valmistajakohteisista suosituksista. (AN-Cadsolutions, n.d.)

### 3.4. Nylon

PA (polyamidi), joka tunnetaan paremmin nimellä nylon. Se on yksi monipuolisimmin käytetyistä muovimateriaaleista, sitä käytetään laajasti kaikilla teollisuuden aloilla. Nylon soveltuu hyvin kappaleisiin, joissa tarvitaan hyvää mekaanista kestävyyttä, kulutuksen kestävyyttä, hyvää väsymislujutta ja se kestää useimpia hiilivetyjä (liuottimia) sekä emäksiä. Koneiteollisuudessa sitä käytetään esimerkiksi laakereissa, hammaspyörissä ja kytkimissä. (Vink, 2019b)

Nylon on kestävä, vahva ja monipuolinen 3D-tulostusmateriaali. Se on elastinen materiaali ja se palautuu vääntymisen jälkeen alkuperäiseen muotoonsa. Nylon kerää kosteutta, joten sitä täytyy kuivattaa uunissa ennen tulostuksen aloittamista, jotta saadaan kerrokset tarttumaan toisiinsa. Tulostusprosessin aikana nylon tarvitsee suuttimen lämpötilaksi 240-270 celsiusastetta ja alustan lämpötilaksi 60-80 celsiusastetta. Suuttimen ja alustan lämpötilat vaihtelevat tulostuslangan valmistaja kohtaisen suositusten mukaan. (Peda, n.d.)



### 3.5. Akryylistyreeniakrylonitriili (ASA)

ASA on kestävä muovi, sillä on hyvät mekaaniset ominaisuudet ja erinomainen säänkestävyys. Sillä on hyvä kemikaalien kestävyys (ei kestä kuitenkaan liuotainaineita), pintakovuus, ja erinomainen UV-kestävyys. Muut ominaisuudet vastaavat ABS-muovin ominaisuuksia mutta ASA:lla on huomattavasti parempi iskunkestävyys kylmässä. Se on harvinaisempi tulostusmateriaali kuin PLA tai ABS ja sen takia värivalikoima on suppeampi kuin edellä mainittujen materiaalien. ASA:n tulostus on helpompaa kuin ABS-muovin, mutta sitä ei saa jäähdyttää liikaa tulostuksen aikana, muuten materiaali alkaa taipumaan kappaleen reunoista niin kuin ABS-muovi. Tulostusprosessin aikana suuttimen lämpötila on n. 230-260 celsiusasteen välissä ja tulostusalustan lämpötila on noin 85 celsiusasteen paikkeilla. (Filamall, 2019a)

### 3.6. Thermo Plastic Elastomer (TPE/TPU)

Thermoplastiset elastomeerit ovat joustavia kestäviä muoveja, niitä voidaan taivuttaa toistuvasti huoneen lämmössä. Ne venyvät jopa kaksinkertaiseksi niiden alkuperäiseen mittaansa nähden ja palautuvat alkuperäisiin mittoihinsa jännityksen vapautuessa. TPE:llä ja hyvin samankaltaisella TPU:lla (Termoplastinen polyuretaani) voidaan valmistaa pehmeitä, joustavia ja iskua vaimentavia kappaleita. TPE-muovia tulostettaessa tulostusnopeus joudutaan laskemaan 20mm/s kun jäykällä langoilla nopeus on 60-80mm/s. Tulostuslangan löysyyden vuoksi tulostusnopeus pitää laskea alhaiseksi, koska sitä ei voi työntää suurella voimalla suuttimen läpi toisin kuin jäykkiä lankoja. Tulostusprosessin aikana suuttimen lämpötila pitää olla 230-250 celsiusasteen välissä ja tulostus alustan lämpötila noin 80 celsiusasteen paikkeilla. Tulostettujen kappaleiden jälkikäsittely on vaikeaa. (Filamall, 2019b)

## 4. PROTEESI

### 4.1. Mikä proteesi on?

Proteesi on apuväline, joka korvaa puuttuvan kehon osan. Sen avulla on tarkoitus saada lisättyä potilaan toimintakykyä ja eheyttämään potilaan kehonkuva. Se on tärkeä osa henkilön kuntoutuksessa. (Soleusproteor, n.d.). Proteeseja käytetään henkilöillä, jotka ovat esimerkiksi syntyneet ilman raajaa, menettäneet sairauden tai onnettomuuden takia raajan, muuttamaan transsukupuolisten miesten ja naisten ulkoisia piirteitä ja erikoisefekteinä elokuvissa. Proteesioppia kutsutaan protetiikaksi. (Wikipedia, 2019)

### 4.2. Proteesien historia

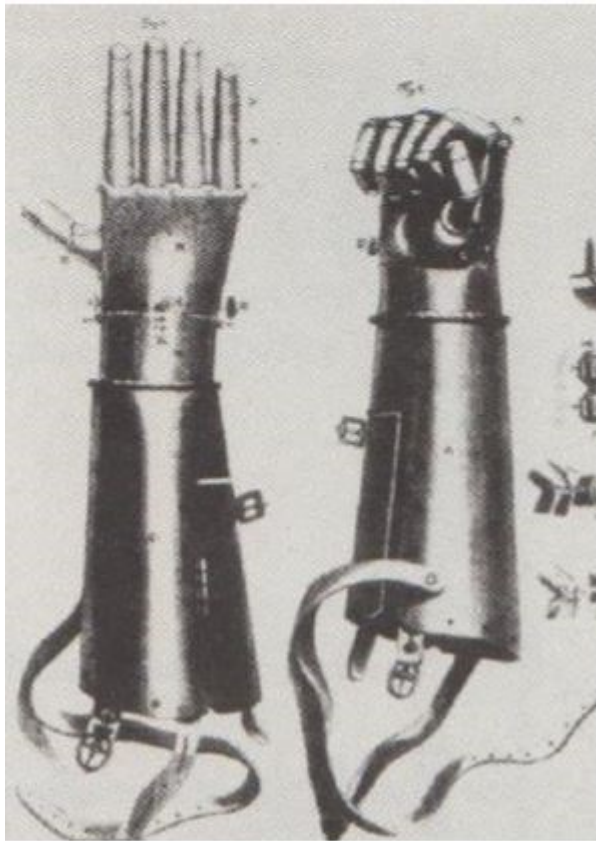
Amputaatio oli ennen nykyaikaista lääketiedettä yleinen tapa pelastaa ihmishenkiä. Varhaisin havainto proteesien käytöstä on Egyptin aikakaudelta 950-710 eaa, joilla oli tarkoitus täydentää puuttuvia kehon osia. Egyptin aikakaudelta löytyy isovarvasproteesi, jota jalosukuinen nainen käytti siihen aikaan (Kuva 8). Rooman aikainen alaraajaproteesi oli toinen maailman vanhimpia säilyneitä proteeseja, joka oli yli 2000 vuotta vanha, mutta se tuhoutui toisen maailman sodan aikaan Lontooseen tehdyissä pommituksissa. (Listverse, 2016)

Puunilaissodassa 218-210 eaa. Roomalainen kenraali Marcus Sergius menetti kätensä. Hänelle valmistettiin raudasta käsi, jota hän pystyi käyttämään taisteluissa. Hän tuli kuuluisaksi kätensä uskomattoman kestävyden ansiosta. (Wikipedia, 2018)

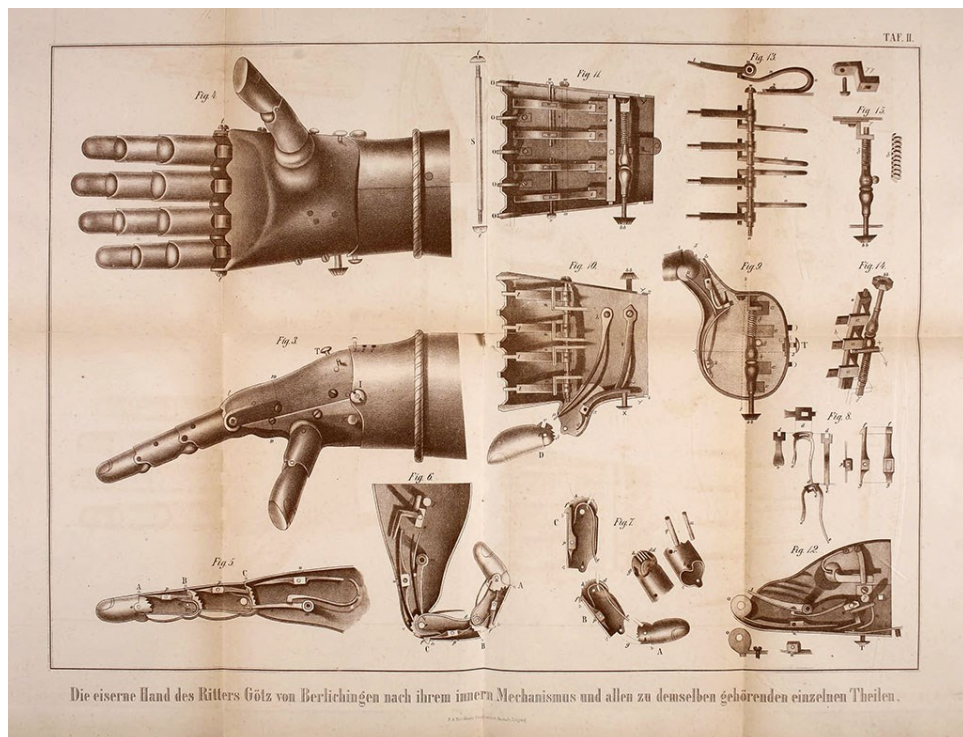


Kuva 8. Egyptiläinen varvasproteesi (Livescience, 2017)

Keskiajalla luvuilla 500-1400 proteesien kehitys ei ottanut suuria kehityskaskelia eteenpäin tai ainakaan sieltä ajalta ei ole säilynyt minkäänlaisia kirjoituksia proteeseista. Alt-Ruppin-käsi (Kuva 9) on 1400-luvun alkupuolelta tunnettu vanhin yläraajaproteesi ja sen sormet liikkuvat pareittain jousien avulla (Kuva 11). (Solonen & Huittinen 1992, 15–18) Vuonna 1504 pahamaineinen palkkasoturi Gottfried ``Gotz`` von Berlichinge menetti oikean kätensä Landshutin piirityksen aikana tykin räjähdyksessä. Hän sai raudasta tehdyn käden, jonka nivellettyjä sormia liikutti hammaspyörät (Kuva 10). Se oli riittävän kestävä, että sillä pystyi käsittelemään miekkaa ja riittävän herkkä, että sillä pystyi käsittelemään kynää. Gotz terrorisoi lähes 40 vuotta saksan maaseutuja noin 500 vuotta sitten. (Listverse, 2016)

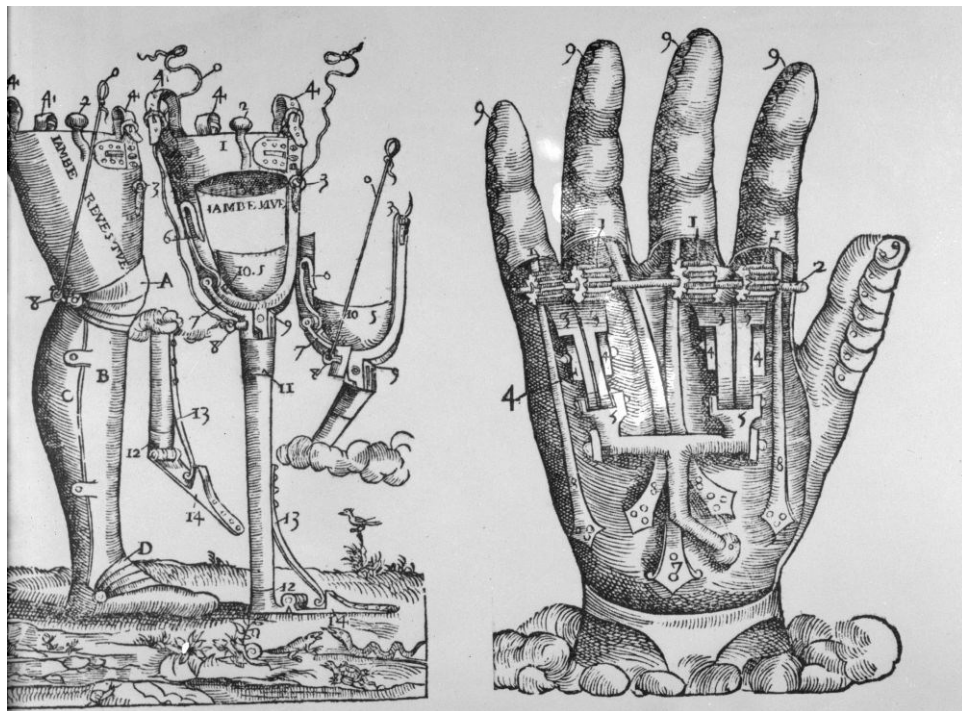


Kuva 9. Alt-Ruppin käsi 1400-luvulta (Solonen & Huittinen 1992)



Kuva 10. Gottfried ``Gotz`` von Berlichingen tekokäsi ja sen mekaniikka (Exhinitis museogalileo, 2015)

1500-luvun puolivälissä tunnetuksi tuli Ambroise Paré, joka kehitti tunnetuksi tulleen verisuonisidontatekniikan, jonka ansiosta proteesitekniikka alkoi kehittyä. Paré oli ammatiltaan parturi ja hän palveli 1500-luvun puolivälissä Ranskan armeijassa. Hän kehitti voiteen, joka edisti haavojen paranemista ja molemmat käytännön kehitelmät paransivat amputoitujen veteraanien selviytymisprosenttia. Moni amputoiduista sotilaista kuitenkin otti itseltään hengen ennemmin, kuin eli ilman amputoitua raajaa. Tapauksen seurauksena Paré ymmärsi, ettei pelkkä haavojen hoito riittänyt. Tarvittiin jotain, millä saadaan palautettua amputoidun normaali toimintakyky takaisin ja eheytettyä heidän minäkäsitystä. Hän lähestyi kokonaisvaltaisemmin tätä ajatustapaa silmällä pitäen proteesien hoitoon. Tämän ajatustavan myötä hän loi ensimmäisen keinoitekoisen jalan toimivalla polvinivelillä ja keinoitekoisen käden nivelletyillä sormilla (Kuva 11). Hänen keksintöjään käytetään vielä nykyajan proteeseissakin. (Solonen & Huittinen 1992, s. 15)



Kuva 11. Ambroise Paré:n kehittelemät jalka ja käsi proteesi (Revuecaptures, n.d.)

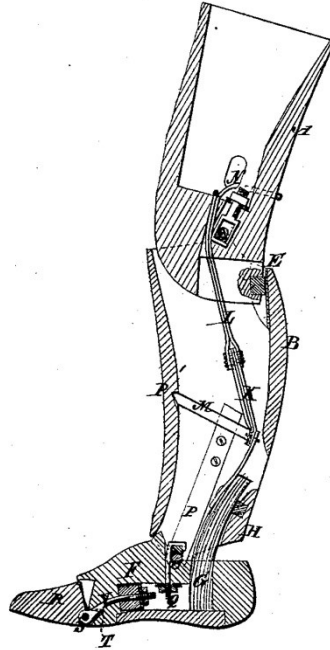
Sota-ajat kasvattivat proteesien tarpeita, silloin jouduttiin tekemään paljon amputaatioita. Amerikan sisällissodan aikana keksittiin kehittynein alaraajaproteesi ja proteesin kehittäjä oli James Hanger. Hän kuului sen ajan ensimmäisiin ihmisiin, jolle tehtiin amputaatio. Sen ajan kehittynein proteesi sisälsi muun muassa kaksi sarananiveltä, polvessa ja nilkassa (Kuva 12). Maailmansodan aikana ei proteesitekniikassa koettu samantyyppistä kehitystä, kuin sisällissodan aikana, vaikka silloinkin ihmiset kokivat valtavan määrän henkien ja raajojen menetyksiä. (Unyq, 2015)

J. E. HANGER.  
ARTIFICIAL LEG.

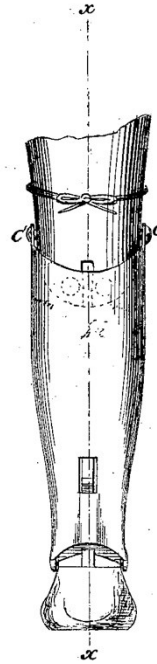
No. 111,741.

Patented Feb. 14, 1871.

*Fig. 2.*



*Fig. 1.*



Witnesses:

*E. May*  
*L. S. Hooper*

Inventor:

*J. E. Hanger*  
PER *Munn & Co*  
Attorneys.

THE NORRIS PETERS CO., PHOTO-LITHO., WASHINGTON, D. C.

Kuva 12. James Hangerin kehittämä alaraaja proteesi vuonna 1871 (Civilwarprofiles, 2018)

Saksassa 1920-luvulla kehiteltiin ensimmäinen sähkökäyttöinen proteesi. Proteesissa sähkömagneetti sai aikaan peukalon ja etu- ja keskisormen välisen otteen. Sähköproteesit olivat aluksi vaikeita käyttää ja niiden toimintaa ohjattiin pneumaattisilla ja mekaanisilla kytkimillä. Raaja proteesien käyttö helpottui, kun niihin saatiin lisättyä lihassähköinen hallinta (Solonen & Huittinen 1992, 211–213).

Proteesien varsinainen tutkimus- ja kehitystyö alkoi vasta toisen maailman sodan jälkeen. Vuonna 1946 UC Berkeleyyn tutkijat kehittivät imusukan alaraaja amputoiduille ja kiinnitystekniikka on edelleen käytössä. 1960-luvulla muovi alkoi syrjäyttämään puuta, nahkaa ja kumia proteesien valmistus materiaalina. Keksijä Ysidro M. Martinez kehitti 1970-luvulla alaraajaproteesin, joka keskittyi parantamaan kävelykykyä ja pienentämään kitkaa, eikä vain toistamaan luonnollisen raajan mukaista liikettä. Hiilikuitu ja silikoni alkoivat valtaamaan alaa proteesien valmistus materiaalina 1980-luvulla. Suomessa oli vielä 1990-luvulla noin viides osa alaraaja proteeseista puisia. Muovihartsit yleistyivät 1950-luvulta alkaen ja 2000-luvulla muovi syrjäytti muut materiaalit lähes kokonaan proteesien valmistuksessa (Unyq, 2015).

## 5. PROTEESIN VALMISTUS

### 5.1. Suunnitteluvaihe

Materiaalin valinta on tärkeä osa suunnittelua. Materiaalin valinnassa pitää ottaa huomioon haluttujen toimintojen asettamat vaatimukset materiaalille ja ottaa huomioon minkälaisia kuormituksia kappale joutuu kestämään vetoa, puristusta, taivutusta, leikkausta, vääntö vai nurjahdusta esittävää voimaa. Käyttöympäristön tuomat vaatimukset pitää huomioida materiaalin valinnassa ja mahdolliset olosuhdevaihtelut, koska silloin materiaalin ominaisuudet voivat muuttua huomattavasti. Materiaaleilla on yleensä tapana kylmässä supistua ja ne kovettuvat. Ne tulevat hauraammiksi ja murtumisherkemmiksi. Lämmitessä materiaali alkaa taas laajenemaan, silloin tapahtuu venymistä ja, kun materiaali lämpenee tarpeeksi paljon se alkaa sulamaan ja menettää muotonsa ja ominaisuutensa. Materiaalia valittaessa pitää huomioida valmistusmenetelmään soveltuvuus materiaalille ja huomioida materiaalin tulostettavuus, hitsattavuus, koneistettavuus, muokattavuus ja pintakäsiteltävyys. Materiaalin valinnassa on myös huomioitava erilaiset kustannukset, jotka muodostavat materiaalille hintaa. Valmistuskustannukset, hankintakustannukset, käytön aikaiset kustannukset ja hävittämiskustannukset vaikuttavat kokonaiskustannuksiin vahvasti ja sitten on vielä hallinnolliset ja laadunvalvonnalliset kustannukset mitkä pitää huomioida. Materiaalivalintataulukossa esitän proteesin osille valitsemani materiaalit (Taulukko 1).

Materiaalin valinta taulukossa PLA-muovi, ABS-muovi ja ASA-muovia ei tullut valikoitua mihinkään käden osaan, koska PTEG-muovilla on samat ominaisuudet yhdistettynä kuin PLA-muovilla ja ABS-muovilla. Sitä on helpompi tulostaa kuin ABS-muovia ja ASA-muovia. Materiaali kustannuksiltaan se on hieman kalliimpaa kuin PLA-muovi ja saman hintaista kuin ABS-muovi. Lisää tietoa materiaaleista löytyy kappaleesta 3.

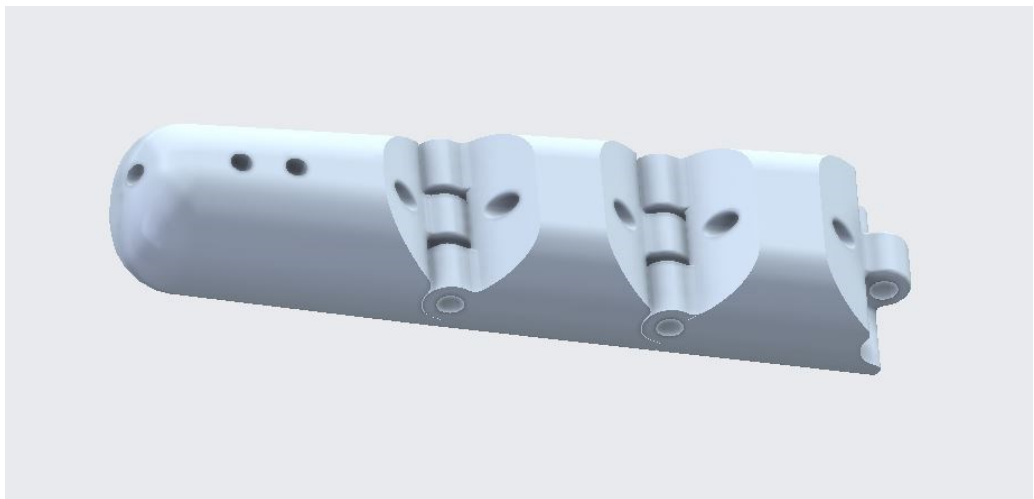
	PLA	PTEG	ABS	NYLON	ASA	TPU
Kämmenrunko		X				
Sormet						X
Vetomekanismi		X				
Pulttimekanismi				X		
Kämmenen selkäpuoli		X				
Kämmenen kansi		X				
Käsivarren sovite holkki						X
Käsivarsi		X				

Taulukko 1. Materiaalin valintataulukko

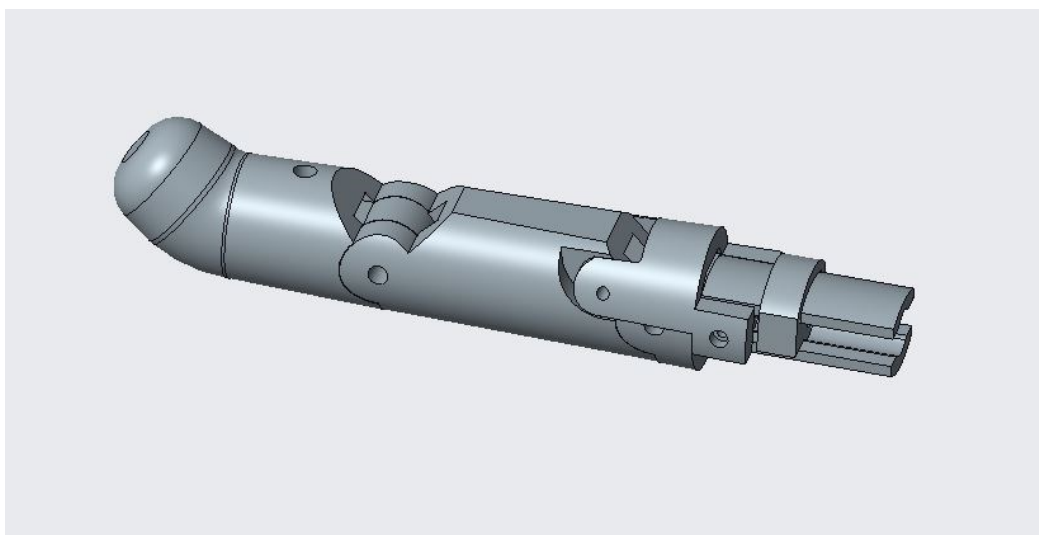


Valmistusmenetelmän valinnassa pitää huomioida materiaalin soveltuvuus menetelmälle ja valmistettavien kappaleiden koon soveltuvuus menetelmälle. Sarjasuuruus pitää huomioida kuinka paljon pitää pystyä valmistamaan kappaleita tietyssä ajassa sekä kappaleiden muotojen soveltuvuus valmistusmenetelmälle. Valmistustoleranssit pitää huomioida, sekä ottaa huomioon kuinka tarkkoja kappaleita täytyy saada valmistettua ja valmistusmenetelmän tuottama pinnanlaatu ja kappaleen jälkikäsiteltävyyden tarve. Menetelmän tuottamat viat valmistuseriin pitää huomioida, koska jokainen virheellinen kappale lisää valmistuskustannuksia. Valmistusmenetelmän suunnitteluystävällisyys on hyvä huomioida valmistusmenetelmää valittaessa, jos on helppo suunnitella menetelmälle osia ne valmistuvat suunnitteluvaiheesta nopeammin ja suunnitteluvaiheen kustannukset jäävät edullisemmiksi. Suurien laitteistojen hankintatarve kannattaa minimoida, kun valitsee valmistusmenetelmää, edullisinta olisi valmistaa tuotteet jo valmiiksi löytyvillä laitteilla, jos mahdollista. Valmistusmenetelmän kokonaisvalmistusnopeus lopulliseen tuotteeseen on kuitenkin tärkeimpiä tämän päivän etuja valmistusmenetelmää valittaessa, koska nopeasti valmistunut tuote saadaan myynti markkinoille nopeammin.

Materiaalin pursotusmenetelmä valikoitui minun valitsemakseni valmistusmenetelmäksi siksi koska sillä on edullista valmistaa prototyyppit, menetelmän omaava laite löytyi itseltä ja työni kappaleiden muodot soveltuvat valmistusmenetelmälle. Työni tarkoitus on, myös selvittää minkälaista on valmistaa kyseisellä menetelmällä käsiproteesi. Kuvissa 13-16 näkyy sormenkehitys työn varrella ja kuvassa 17 näkyy lopullinen käsiproteesi.



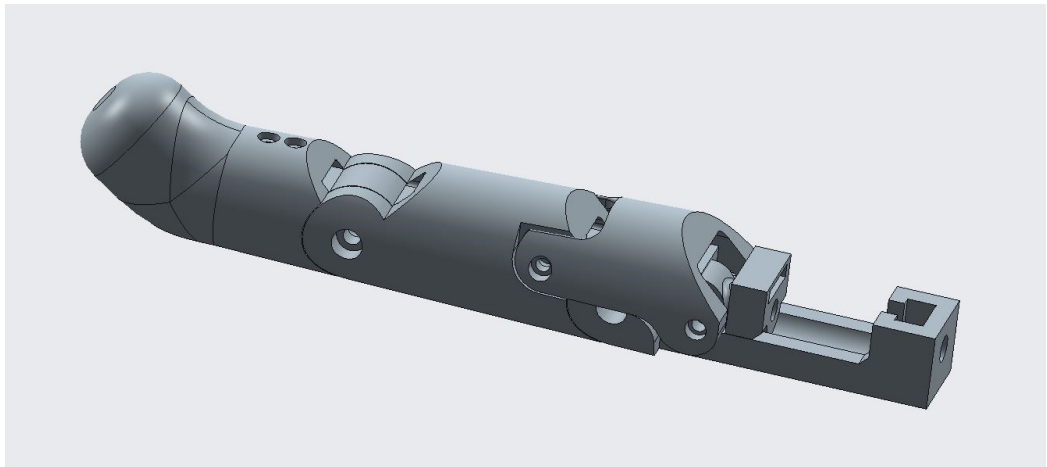
Kuva 13. Sormen kehittyminen



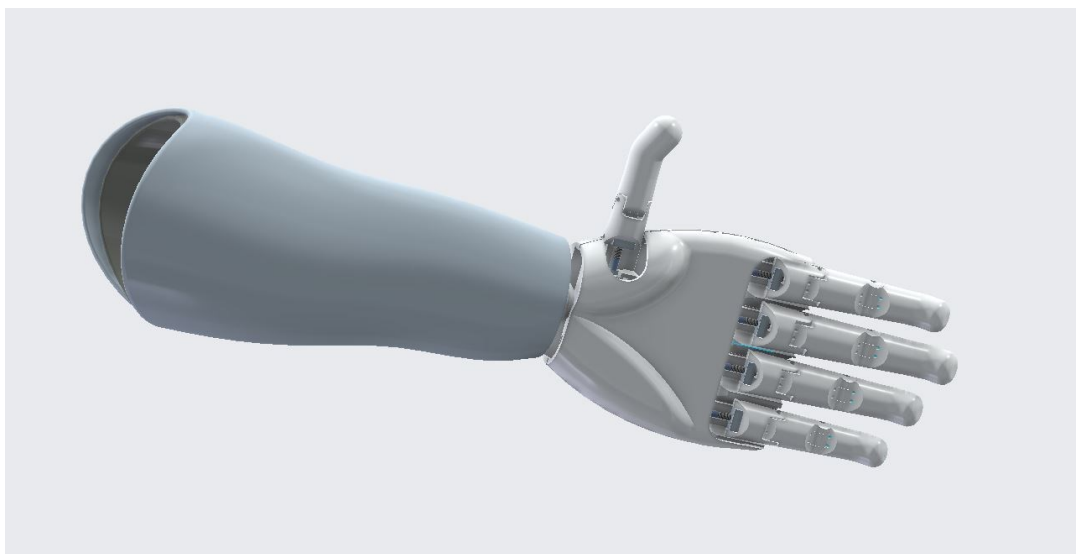
Kuva 14. Sormen kehittyminen



Kuva 15. Sormen kehittyminen



Kuva 16. Sormen kehittyminen



Kuva 17. Lopullinen proteesi

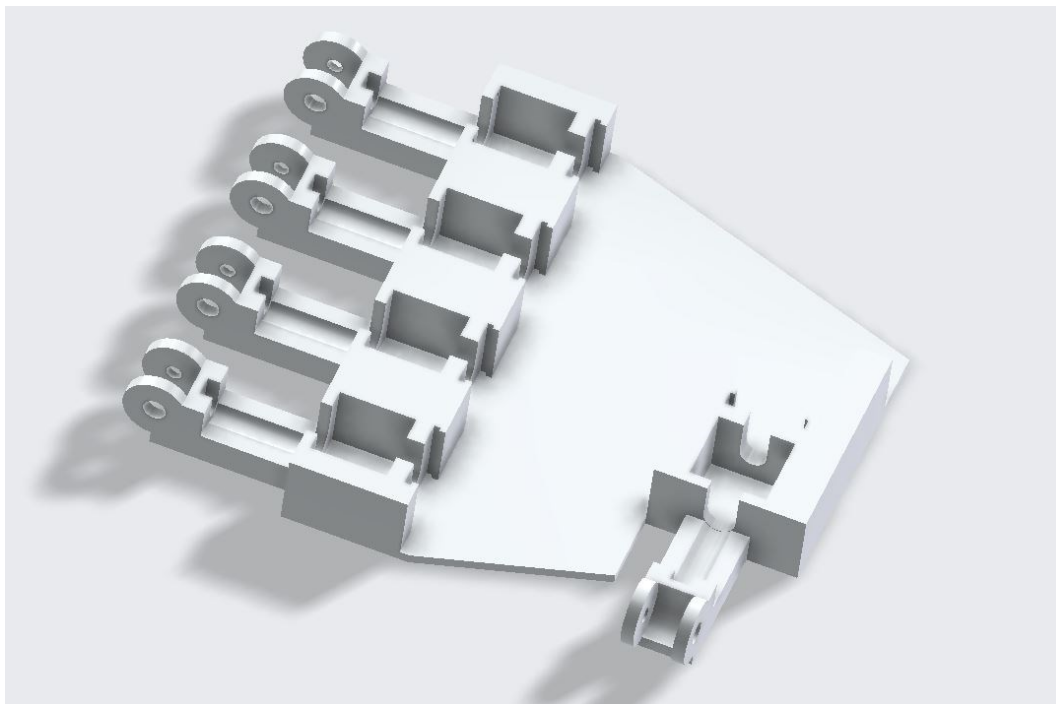
## 5.2. Käden rakenne ja mekaaniset ratkaisut

### 5.2.1. Käden osat

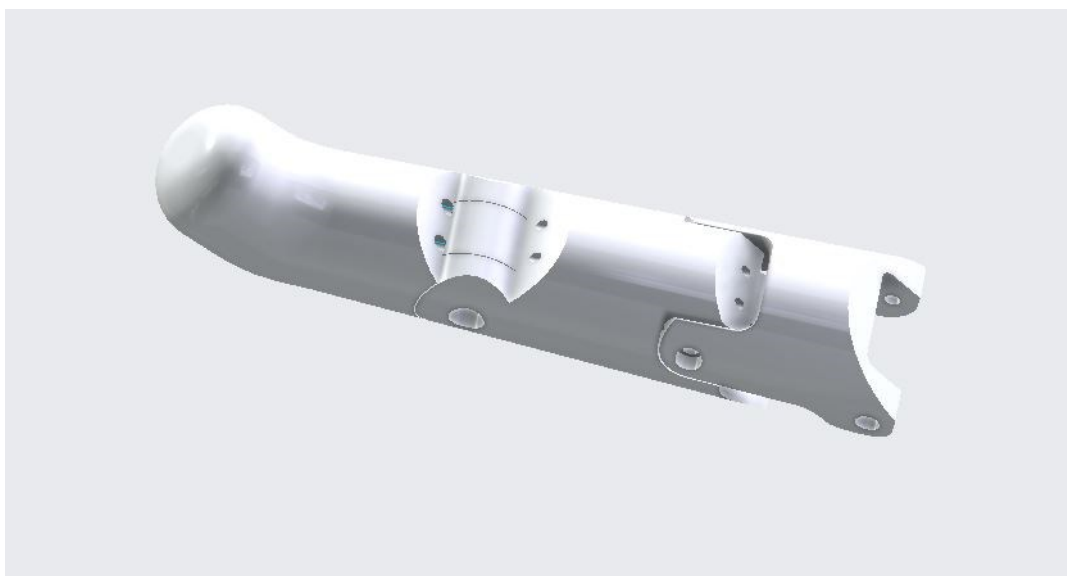
Oli tärkeää, että sain proteesia suunnitellessa käden anatomiset mittasuhteet oikeiksi niin ulkonäkövaatimusten kuin toiminnan kannaltakin. Tässä kappaleessa esitellään suunnittelemani käden osat.

Kämmenrunkoon on tarkoitus kiinnittää sormet ja muuta mekaaniset ko-  
neistot ja se toimii pohjana käden kasaamiselle (Kuva 18). Sormien ra-  
kenne on saman tyyppinen kaikissa neljässä sormessa, jotka menevät sa-  
maan suuntaan (Kuva 19), niissä muuttuvat vain mittasuhteet. Peukalon  
rakenne eroaa muista sormista jonkun verran (Kuva 20). Vetomekanismin

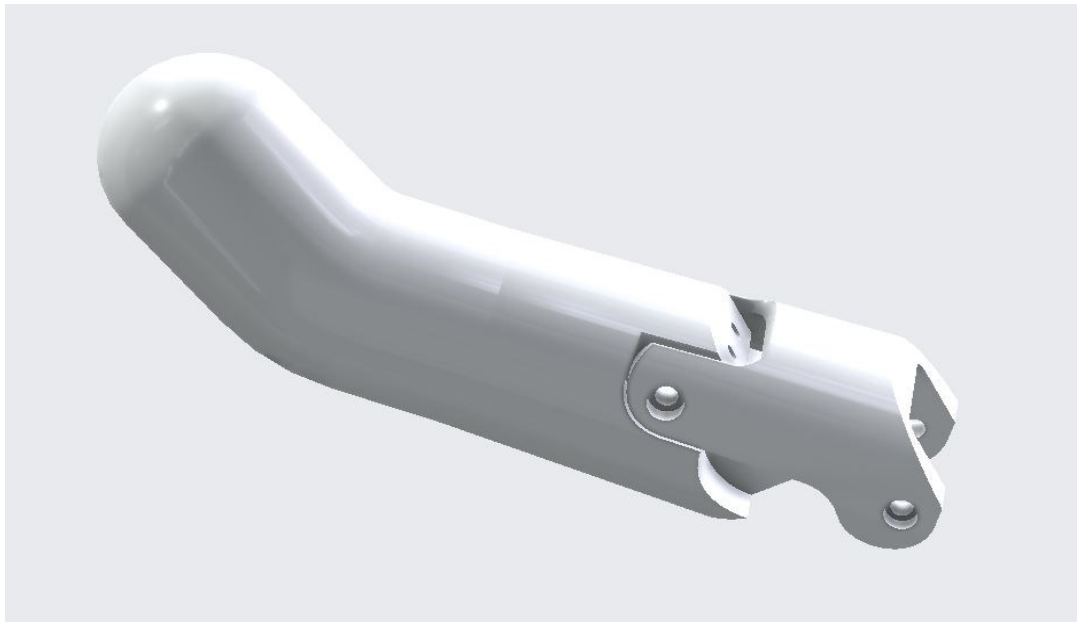
(Kuva 21) on tarkoitus vetää sormen ensimmäistä niveltä pulttimekanismin (Kuva 22) kiertyessä ja samalla rullaavan siimaa kiristäen toista niveltä. Pulttimekanismia kierittää DC N20-vaihteistomoottori, joka näkyy kuvassa 23, jossa on esitetty käden kokonaistekniikka. Kuvissa 24-28 näkyy käden eri osia ja niiden rakenteita.



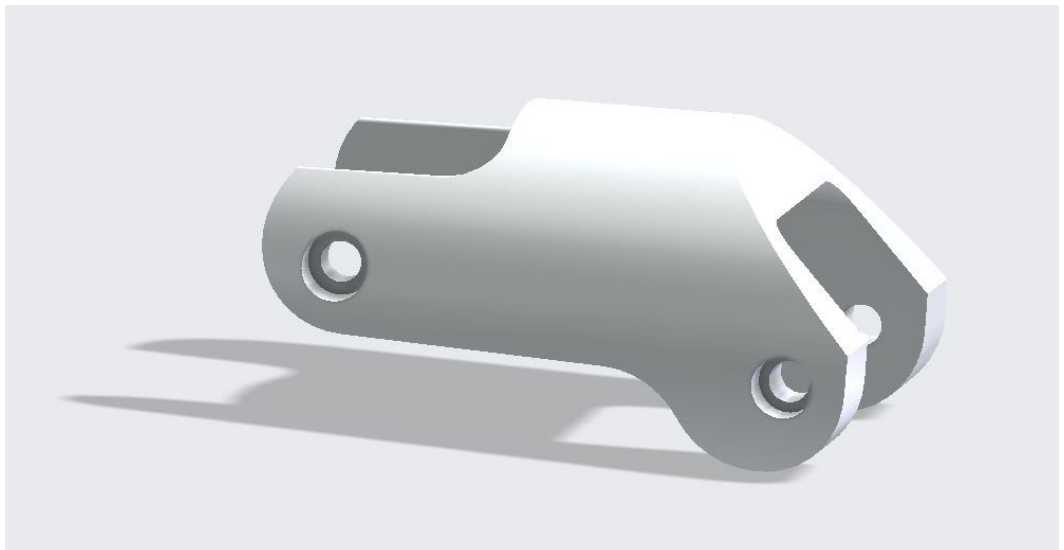
Kuva 18. Kämmenrunko



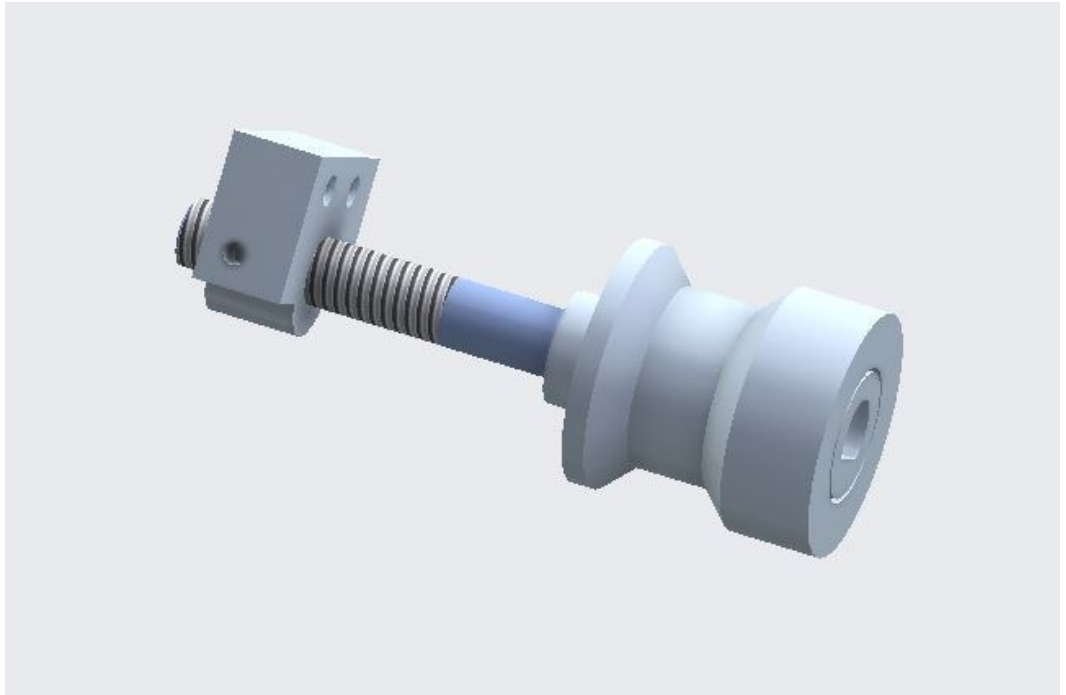
Kuva 19. Sormien rakenne



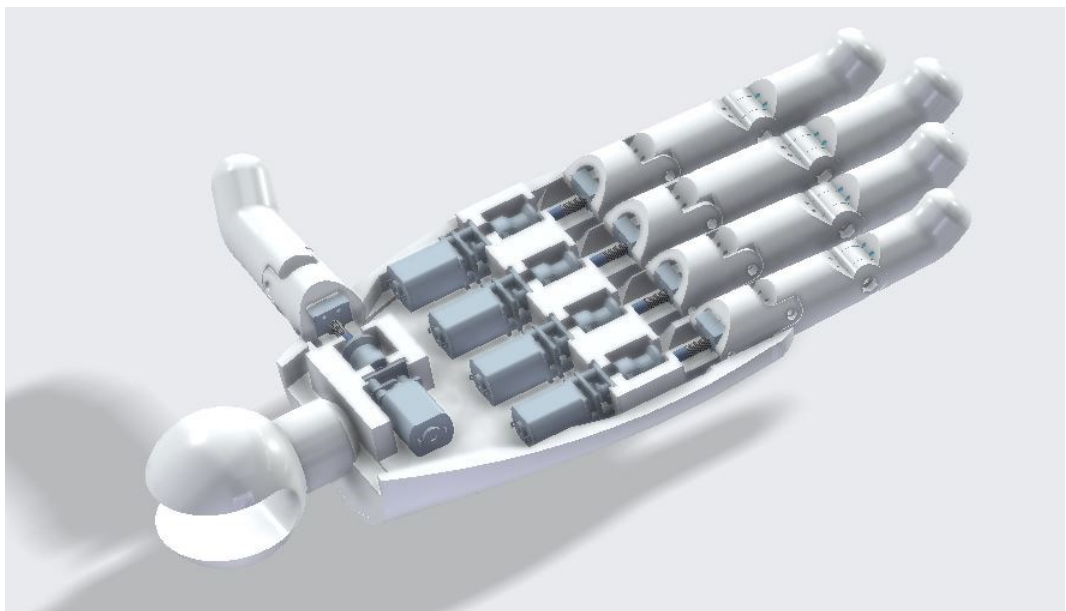
Kuva 20. Peukalon Rakenne



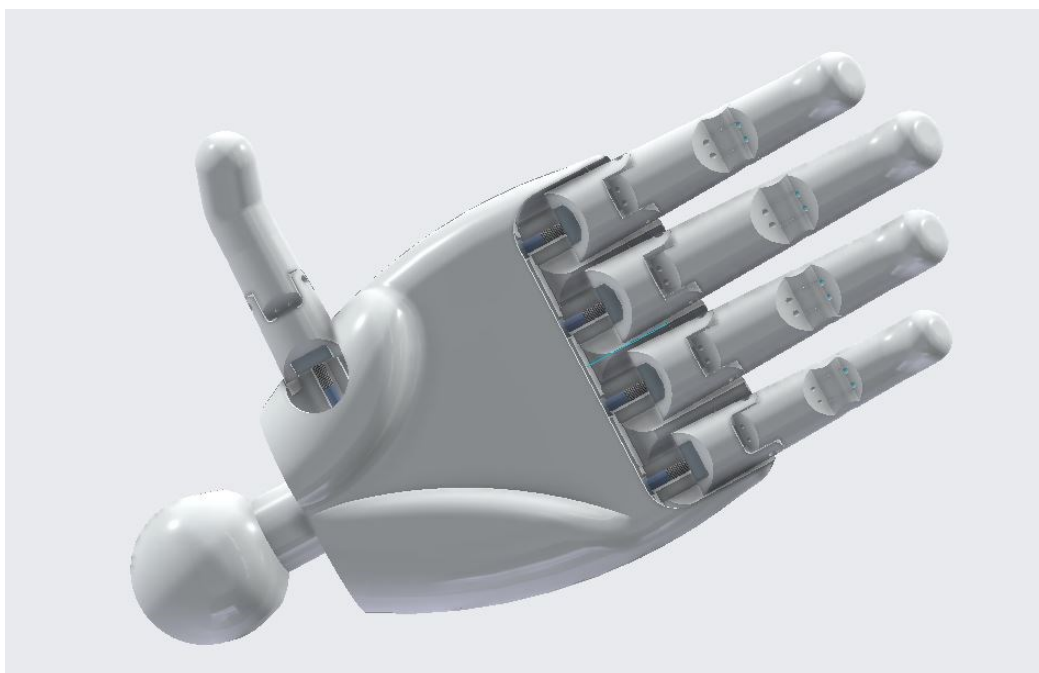
Kuva 21. Vetomekanismi



Kuva 22. Pulttimekanismi



Kuva 23. Kokonaistekniikka



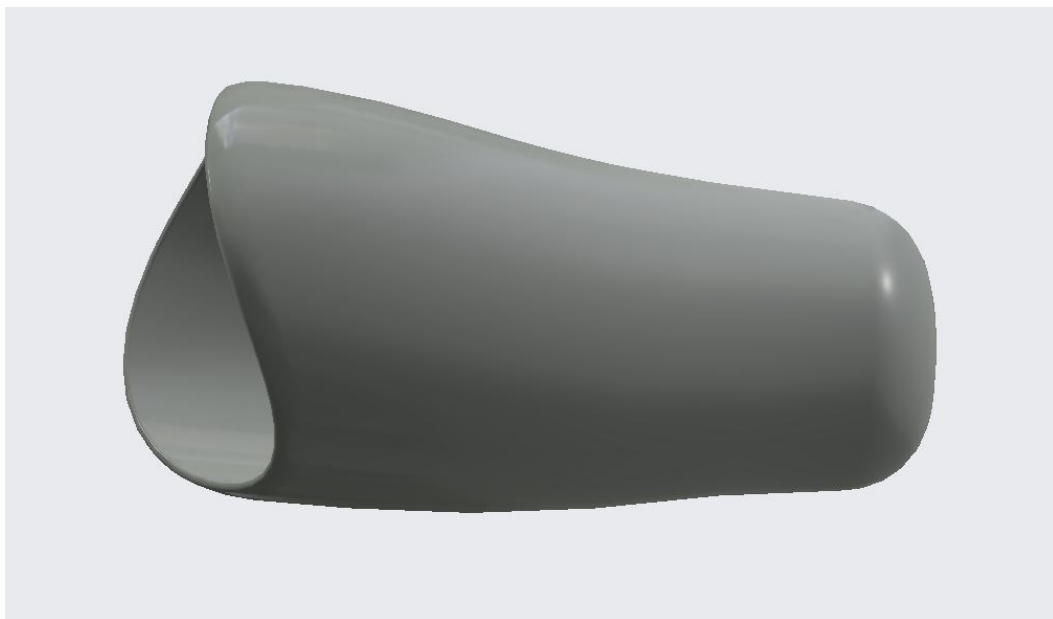
Kuva 24. Käsi



Kuva 25. Kämmenen selkäpuolen kansi

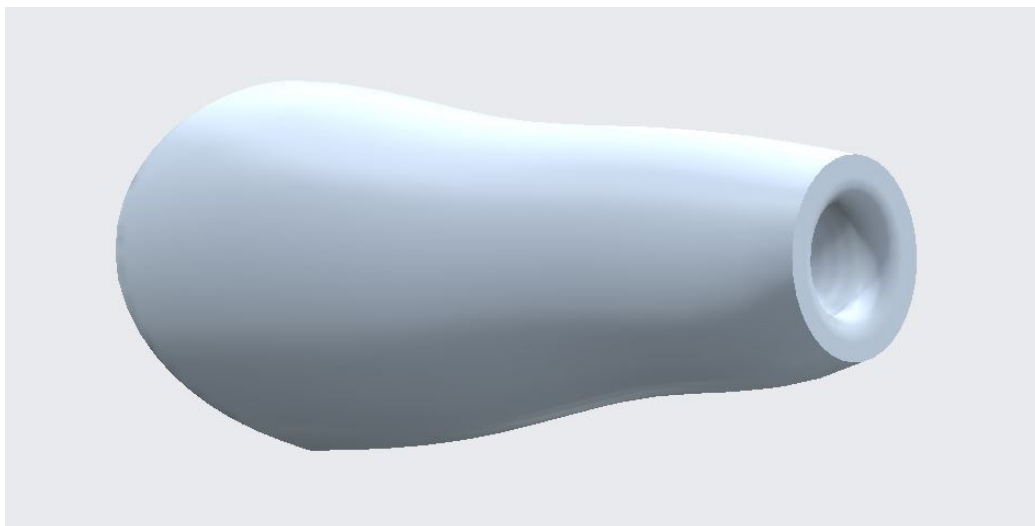


Kuva 26. Kämmenpuolen kansi



Kuva 27. Käsivarren soviteholkki tynkään





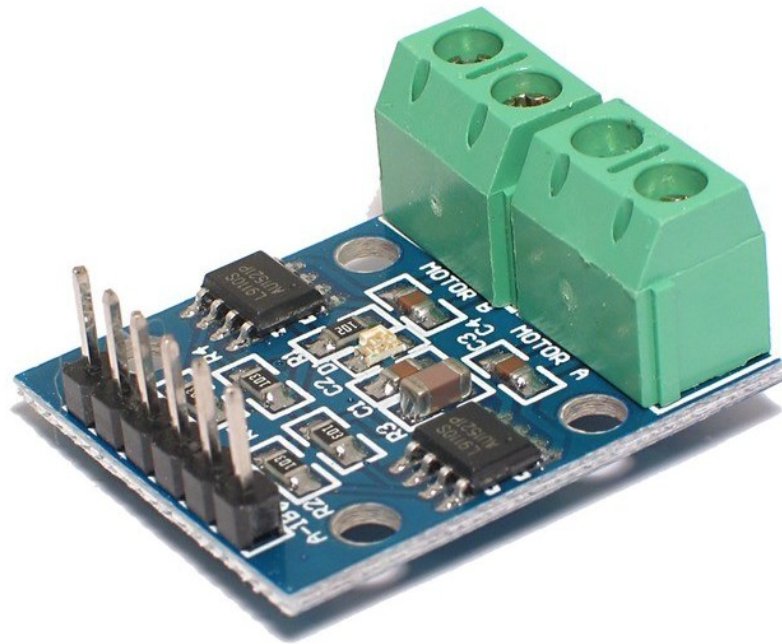
Kuva 28. Käsivarsi

### 5.2.2. Sähköiset komponentit

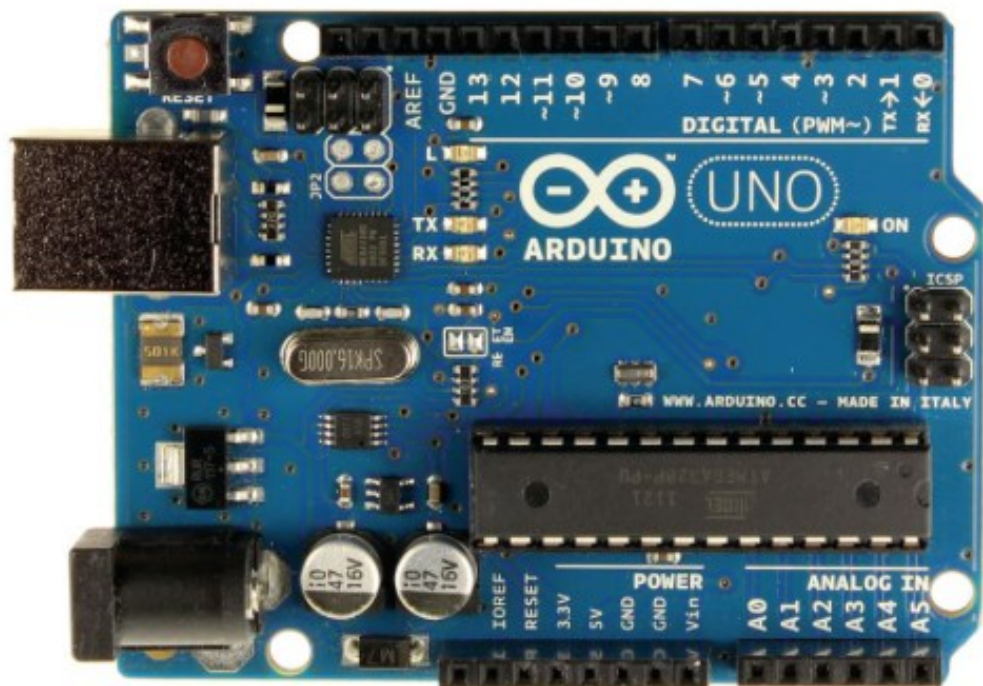
Sormien moottoreina toimii N20-vaihteistomoottori (Kuva 29), jokaisella sormella on oma N20-moottori. N20-moottoreita ohjaa kaksikko H-silta moottoriohjainkortit (Kuva 30), jotka saavat ohjauksensa Arduino Uno-piirilevyltä (Kuva 31). Arduino Uno saa käskyt lihassensorilta, jotka ovat kiinnitetty potilaan tynkään (Kuva 32). Virtalähteinä toimii neljä kappaletta 18650 litiumakkuja (Kuva 33).



Kuva 29. N20 vaihteistomoottori HT-SOG12C (Hotecmotor, 2016)



Kuva 30. L9110S kaksikko h-silta moottorinohjainkortti (Partco, n.d.)



Kuva 31. Arduino Uno-kehitysalusta (Elfadistelec, 2020)



Kuva 32. EMG-lihassensori V3.0 (Robu, n.d.)

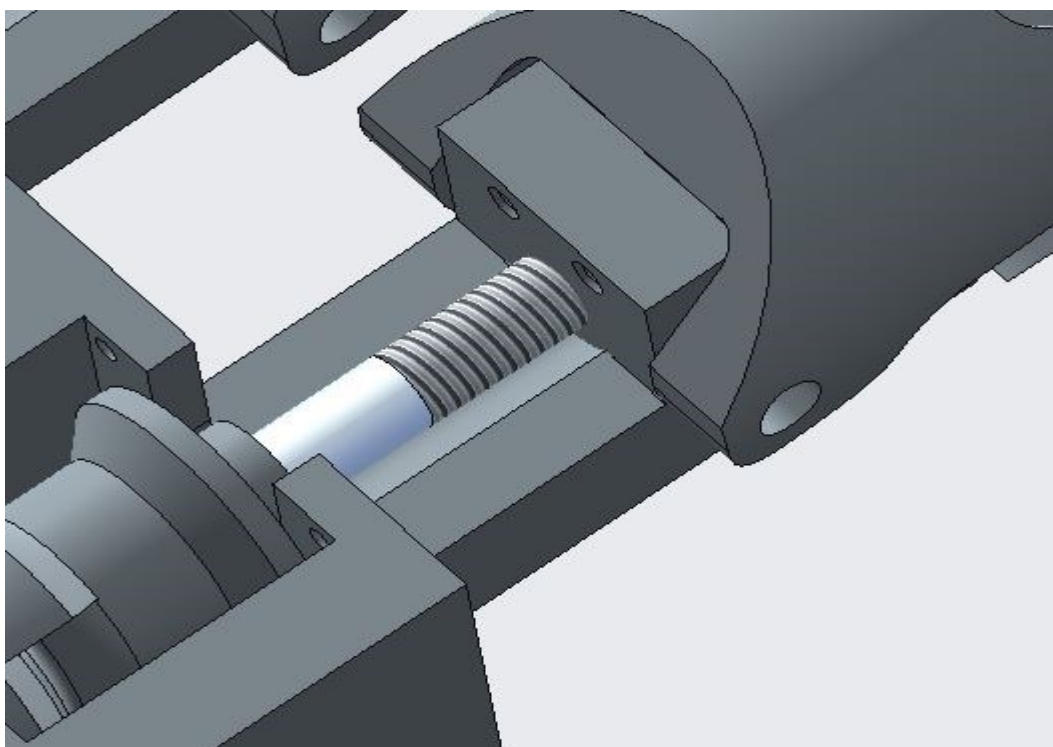


Kuva 33. 18650 litiumakkukkenno (Akkula, n.d.)

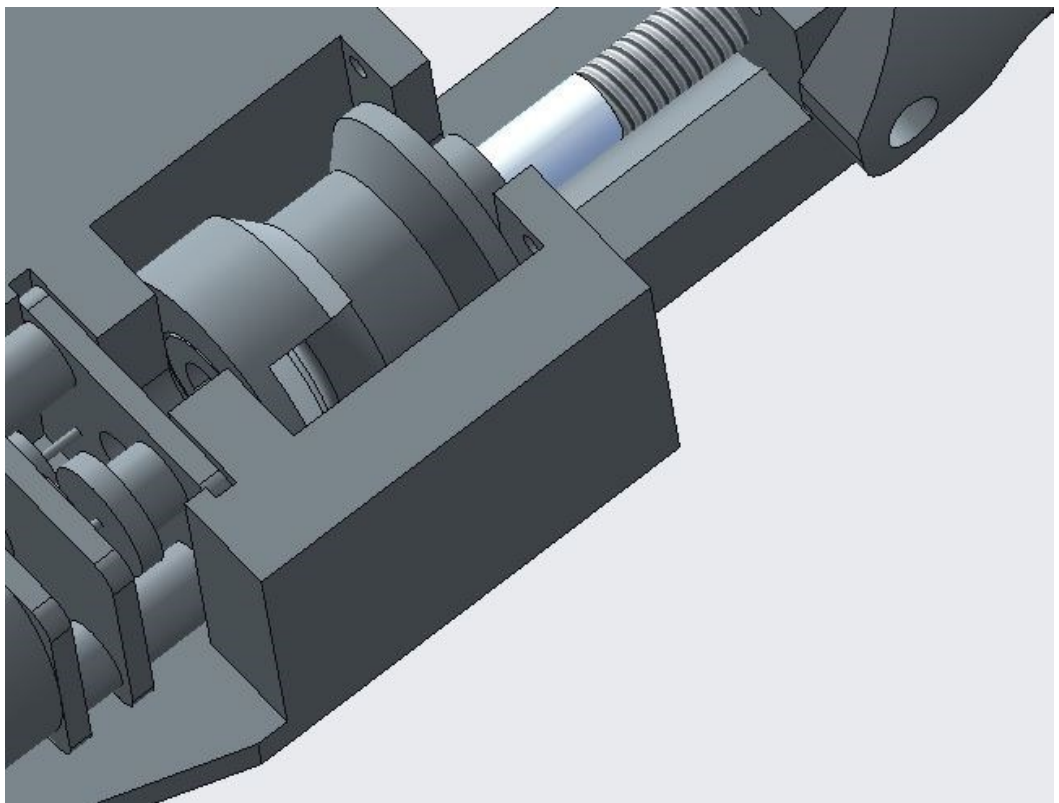
### 5.3. Suunnittelun ongelmat

Suunnittelun suurimpia ongelmia oli alusta alkaen tilan puute, johon tarvittavat toiminnot piti mahduttaa. Tilan puutteen sain jossain määrin ratkaistua erilaisilla kompromisseilla. Seuraavat kaksi mekaanista kohtaa ratkaisi kuitenkin sen, että en saanut toimivaa proteesia kasattua.

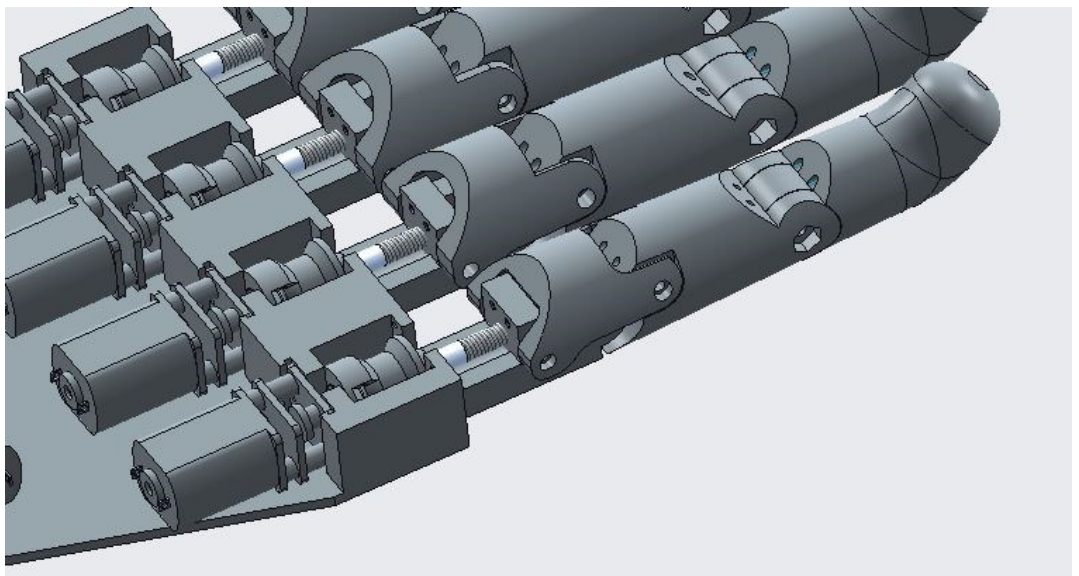
Kuvassa 34 kierrepalikan pitäisi moottorin pyörittäessä kiertyä taaksepäin ja vetää ensimmäistä niveltä perässään, saaden ensimmäiselle nivelelle puristuksen ja kuvassa 35 siiman pitäisi kiertyä kierremekanismin ympärille, kiristäen sorminiveliä sormien yläosasta asti, joka tuottaa puristuksen sormen jälkimmäiselle nivelelle. Toiminnan kannalta kaksi kriittistä kohtaa toimivat erikseen, mutta niiden yhteistoimimattomuus ratkaisi sen, että en saanut toimivia sormia kasattua. (Kuva 36) tuo kokonaiskäsityksen sormen mekaniismista.



Kuva 34. Kierremekanismin toimintaa kierrepalikan osalta



Kuva 35. Kierremekanismin toiminta siiman kiertymisen osalta



Kuva 36. Kuvassa näkyy kokonaiskäsitys sormen mekaniismista

## 6. POHDINTAA

Valitsin tämän opinnäytetyöni aiheeksi nähtyäni internetissä artikkeleita 3D-tulostuksen mahdollisuuksista proteesien valmistuksen apuna. Aihe alkoi kiinnostamaan ja aloin pohtimaan, josko menetelmällä saisi oikeasti valmistettua käden tapaan toimivia proteeseja. Työni tavoite oli saada valmistettua myo-elektrinen käsi, mutta aika, joka minulla oli tämän kehittämiseen ei riittänyt tuohon tavoitteeseen, koska käden osat tarvitsevat pidempiaikaista kehitystyötä.

Opinnäyte osaltaan todistaa sen, että proteesin valmistaminen 3D-tulostamisella on tulevaisuutta. Tulostamalla proteesi on mahdollista saada ihmisen elämän laatua ja toimintakykyä parantava apuväline. Vaikka opinnäytetyön lopputuloksesta jäikin motorinen toiminta puuttumaan, olisi se mahdollista isommilla resursseilla proteesiin luoda. Prosessin etenemistä rajoitti aika sekä komponenttien puute. Ammatillisesti opinnäytetyö kehitti suunnittelu- ja projektiosaamista. Motivaatiota opinnäytetyöhön nosti se, että aihe on yksilö- ja yhteisötasolla merkittävä. Toivon, että tulevaisuudessa opinnäytetyötäni voisi hyödyntää osana 3D proteesien kehittämistä. Taloudellinen näkökulma nousi vahvasti esiin tehdessä opinnäytetyötä, materiaalit olivat proteesin tekemiseen suhteellisen halpoja ja mietinkin voisiko tulevaisuudessa proteesin kehittäminen olla edullisempaa tuottajalle ja yhteiskunnalle. Ennen opinnäytetyön aloittamista kävin paljon läpi materiaaleihin ja proteeseihin liittyvää materiaalia. Ajoittain tiedon hakeminen oli haasteellista, tuntui että tietoa oli paljon saatavilla, mutta lähteiden luotettavuus oli epävarma. Olin tietoinen ottaessani lähteikseni paljon verkko lähteitä, sillä tietokirjallisuuslähteet olivat suurmalta osilta vanhentunutta tietoa. Tällä tarkoitan sitä, että kirjallisuus ei pysynyt teknologian mukana.

Kun katsotaan tavoitettani saada valmistettua myo-elektrinen käsi. Se ei aivan täysin onnistunut, koska en saanut valmistettua toimivaa prototyyppiä tällä aikataululla. Työni todisti sen, että 3D-tulostus on tulevaisuuden apuväline proteesien valmistuksessa, koska sillä saa valmistettua vaikean muotoisiakin kappaleita, joita ihmisen kehossa sijaitsevat osat ovat. Opin työssäni valmistamaan pidempiaikaista projektia ja käden vaikean muotoiset osat kehittivät minua suunnittelijana. Opinnäytetyölläni ei ole suoranaista yhteyttä työelämään, mutta tästä voisi saada työn, jos saisi joskus kehitettyä toimivan protokäden.

## LÄHTEET

3d Experience. (2020). 3D printing - additive. Haettu 15.12.2019 osoitteesta <https://make.3dexperience.3ds.com/processes/photopolymerization>

Alonen, A., Alonen, L., Hietikko, E. (2016). Tekniikka ja liikenne. Lisäävän valmistuksen perusteet. Haettu 15.12.2019 osoitteesta [https://portal.savonia.fi/amk/sites/default/files/pdf/tki\\_ja\\_palvelut/julkaisut/lisaa-vaan\\_valmistuksen\\_perusteet.pdf](https://portal.savonia.fi/amk/sites/default/files/pdf/tki_ja_palvelut/julkaisut/lisaa-vaan_valmistuksen_perusteet.pdf)

Akkula. (n.d). 18650 litium akkukenno. Haettu 7.2.2020 osoitteesta [https://www.akkula.fi/epages/akkula.sf/fi\\_FI/?ObjectPath=/Shops/20110228-11092-27846-1/Categories/Litium\\_akut/18650](https://www.akkula.fi/epages/akkula.sf/fi_FI/?ObjectPath=/Shops/20110228-11092-27846-1/Categories/Litium_akut/18650)

AN-Cadsolutions. (n.d.). Filamentit. Haettu 12.12.2019 osoitteesta <https://www.an-cadsolutions.fi/3d-laitteet-ja-materiaalit/filamentit/>

Civilwarprofiles. (2018). J. E. lost his leg but not ingenuity. Haettu 25.1.2020 osoitteesta <https://www.civilwarprofiles.com/j-e-hanger-lost-his-leg-but-not-ingenuity/>

Elfadistelec. (2020). Arduino Uno kehitysalusta. Haettu 6.2.2020 osoitteesta <https://www.elfadistelec.fi/fi/mikro-ohjainkortti-uno-arduino-a000066/p/11038919>

Exhibits museogalileo. (2015). Gottfried ``Gotz`` von Berlichingen prosthesis hands. Haettu 23.1.2020 osoitteesta [https://exhibits.museogalileo.it/nexus/enex.php?c\[\]=49117](https://exhibits.museogalileo.it/nexus/enex.php?c[]=49117)

Filamall. (2019a). Tulostusmateriaalit – ASA. Haettu 16.12.2019 osoitteesta <https://www.filamall.fi/tulostusmateriaalit-asa/>

Filamall. (2019b). Tulostusmateriaali – TPE joustaa. Haettu 13.1.2020 osoitteesta <https://www.filamall.fi/tulostusmateriaalit-tpe-joustaa/>

Hotecmotor. (2016). HT-SOG12C motor. Haettu 26.1.2020 osoitteesta <http://www.hotecmotor.com/12mm-diameter-dc-gear-motor/ht-sog12c.html>

Iboro. (2020). Sheetlamination process. Haettu 15.12.2019 osoitteesta <https://www.lboro.ac.uk/research/amrg/about/the7categoriesofadditivemanufacturing/sheetlamination/>

Korpela, M. (2016). *Materiaalia lisäävä valmistus – kustannukset, hyödyt ja haasteet*. Opinnäytetyö. Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma. Satakunnan ammattikorkeakoulu. Haettu 14.12.2019 osoitteesta [https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/111158/korpela\\_marius.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/111158/korpela_marius.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Listverse. (2016). Ancient prosthetics. Haettu 1.2.2020 osoitteesta <https://listverse.com/2016/12/08/10-ancient-prosthetics/>

Livescience. (2017). 3,000-Year-Old Wooden Toe Prosthetic Discovered on Egyptian Mummy. Haettu 20.1.2020 osoitteesta <https://www.livescience.com/59581-ancient-prosthetic-toe-found-in-egyptian-grave.html>

Partco. (n.d.). L9110S kaksikko h-silta moottorinohjainkortti. Haettu 5.2.2020 osoitteesta [https://www.partco.fi/fi/robotit/robotielektronikka/19348-4tx-l9110s.html?search\\_query=4tx+l9110s&results=1](https://www.partco.fi/fi/robotit/robotielektronikka/19348-4tx-l9110s.html?search_query=4tx+l9110s&results=1)

Peda. (n.d.). Tulostusmateriaalit. Haettu 14.12.2019 osoitteesta <https://peda.net/savitaipale/lukio/oppiaineet/valinnaisaineet/3d-tulostus/tulostusmateriaalit>

Revuecaptures. (n.d.). Ambroise Paré developed foot and hand prosthesis. Haettu 25.1.2020 osoitteesta <http://revuecaptures.org/article-dune-publication/quand-le-corps-de-la-bande-dessin%C3%A9e-s%E2%80%99incarne>

Robu. (n.d.). Advance Technologies EMG Muscle Sensor V3.0 With Cable And Electrodes. Haettu 6.2.2020 osoitteesta <https://robu.in/product/advance-technologies-emg-muscle-sensor-v3-0-with-cable-and-electrodes/>

Salla, T. (2015). *3D-tulostettujen teknisten muovien mekaaniset ominaisuudet*. Opinnäytetyö. Tekniikan-alan koulutusohjelma. Lahden ammattikorkeakoulu. Haettu 14.12.2019 osoitteesta [https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/89716/Salla\\_Tuomas.pdf?sequence=4&isAllowed=y](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/89716/Salla_Tuomas.pdf?sequence=4&isAllowed=y)

Soleusproteor. (n.d.). Raajaproteesit. Haettu 13.1.2020 osoitteesta <https://www.soleusproteor.fi/tuotteet/raajaproteesit>

Solonen, K & Huittinen V. (1992). *Amputaatiot ja Proteesit*. Jyväskylä: Gummerus kirjapaino oy.

Suomen 3D. (n.d.). Tietoa materiaaleista. Haettu 14.12.2019 osoitteesta <https://www.suomen3d.fi/tietoa-materiaaleista/abs/>



Unyq. (2015). The history of prosthetics. Haettu 7.12.2019 osoitteesta <http://unyq.com/the-history-of-prosthetics/>

Vink. (2019a). Polyeteenitereftalaatti. Haettu 12.12.2019 osoitteesta [https://www.vink.fi/muovitietopankki/pet\\_muovi](https://www.vink.fi/muovitietopankki/pet_muovi)

Vink. (2019b). Polyamidi. Haettu 12.12.2019 osoitteesta [https://www.vink.fi/muovitietopankki/pa\\_muovi](https://www.vink.fi/muovitietopankki/pa_muovi)

Wikipedia. (2018). Marcus Sergius. Haettu 13.1.2020 osoitteesta [https://en.wikipedia.org/wiki/Marcus\\_Sergius](https://en.wikipedia.org/wiki/Marcus_Sergius)

Wikipedia. (2019). Proteesi. Haettu 13.1.2020 osoitteesta <https://fi.wikipedia.org/wiki/Proteesi>