

Konstantinos Rogdakis, Antti Salovaara

## Kipsijäljennöksen avulla valmistettujen ja 3D-tulostettujen tukipohjallisprosessien vertailu

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Jalkaterapia (AMK)

Jalkaterapian tutkinto-ohjelma

Opinnäytetyö

8.11.17



Tekijät Otsikko	Konstantinos Rogdakis, Antti Salovaara Kipsijäljennöksen avulla valmistettujen ja 3D-tulostettujen tukipohjallisprosessien vertailu
Sivumäärä Aika	26 sivua 8.11.2017
Tutkinto	Jalkaterapeutti (AMK)
Koulutusohjelma	Jalkaterapian tutkinto-ohjelma
Ohjaajat	Fysioterapian yliopettaja Anu Valtonen Jalkaterapian lehtori Pekka Anttila Jalkaterapian lehtori Matti Kantola
<p>Opinnäytetyön tarkoituksena oli vertailla kipsijäljennöksen avulla valmistettujen tukipohjallisten sekä CAD/CAM-mallinnuksen avulla valmistettujen 3D-tulostettujen tukipohjallisten eroja ajan, kustannusten sekä vahvuuksien ja heikkouksien suhteen.</p> <p>Opinnäytetyön tutkimuksellinen lähestymistapa oli sekä laadullinen, että määrällinen. Tutkimuksen teoreettinen osuus kerättiin aiheeseen liittyvien julkaisujen ja tutkimusten kirjallisuudesta sekä sähköisistä tietokannoista. Ajan, kustannusten sekä vahvuuksien ja heikkouksien suhteen aineistot kerättiin lomakkeisiin. Käytännössä aikaa mitattiin sekuntikellon avulla, kustannukset kerättiin yhteistyöryitykseltä sekä sähköisistä tietolähteistä. Vahvuudet ja heikkoudet arvioitiin opinnäytetyön tekijöiden puolesta tukipohjallisprosessin osaluokkien mukaan.</p> <p>Saadut tulokset ajan suhteen olivat, että kipsijäljennöksen avulla valmistetut tukipohjalliset olivat huomattavasti nopeammat valmistaa. CAD/CAM-mallinnuksen avulla valmistetuissa tukipohjallisissa kuitenkin jalkaterapeutin työmäärä on huomattavasti vähemmän aikaa vievää, koska tukipohjallisten tulostusvaiheessa jalkaterapeutin ei tarvitse itse olla paikalla. Suurin osa CAD/CAM-mallinnuksen avulla valmistettujen tukipohjallisten ajasta kului niiden 3D-tulostamiseen. Kustannusten suhteen oli huomattava ero kipsijäljennöksen avulla valmistettujen tukipohjallisten hyväksi.</p> <p>Tutkimusten ja kerätyn aineiston perusteella kipsijäljennöksen avulla valmistettujen tukipohjallisten valmistaminen on nopeampaa ja myös laitekustannukset ovat pienemmät. Vahvuuksia ja heikkouksia arvioitaessa todetaan, että CAD/CAM-mallinnuksen avulla valmistetut tukipohjalliset ovat yksinkertaisempi toteuttaa, sekä kyseisessä toteutuksessa työmäärä jalkaterapeutille on pienempi.</p> <p>CAD/CAM-mallinnuksen avulla valmistettujen tukipohjallisten valmistuksessa on runsaasti enemmän mahdollisuuksia suunnitteluun ja muotoiluun, mutta 3D-tulostamiseen käytettävää aikaa tulisi saada huomattavasti pienemmäksi, että siitä tulisi jalkaterapeutin näkökulmasta kannattavaa.</p>	
Avainsanat	tukipohjallinen, 3D-tulostaminen, kipsijäljennös, CAD/CAM

Authors Title	Konstantinos Rogdakis, Antti Salovaara Comparison between impression casting technique foot orthoses and 3D printed foot orthoses
Number of Pages Date	26 pages 8 November 2017
Degree	Bachelor of Health Care
Degree Programme	Podiatry
Instructors	Anu Valtonen, Principal Lecturer Title Pekka Anttila, Senior Lecturer Matti Kantola, Senior Lecturer
<p>The purpose of this thesis was to compare the differences between foot orthoses made using impression casting technique and 3D-printed foot orthoses made using CAD / CAM modeling based on the duration, cost, and strengths and weaknesses.</p> <p>The study methods were both qualitative and quantitative. The theoretical part of the study was collected from publications and studies in related literature and electronic databases. Duration, cost, strengths and weaknesses of the different manufacturing methods and their relations were collected on forms. In practice, the duration was measured using a stop watch, and the costs were collected from a cooperating company and from electronic data sources. The strengths and weaknesses were assessed by the authors of the thesis according to the sub-sections of the foot orthoses process.</p> <p>The results obtained concerning duration were that the foot orthoses made using the impression casting technique were much faster to manufacture. Using CAD / CAM modeling, however, the podiatrist's workload is considerably less time-consuming because the podiatrist does not have to be present at the foot orthoses printing stage. Most of the time used in the CAD / CAM modeling foot orthoses was spent on 3D printing. There was a significant difference between the costs in favor of the impression casting technique.</p> <p>Based on the studies and the collected material, the production of foot orthoses using the impression casting technique is faster and the equipment costs are lower. When evaluating the strengths and weaknesses, it is stated that foot orthoses using CAD / CAM modeling are simpler to implement, and the podiatrist's workload is smaller.</p> <p>CAD / CAM modeling provides a variety of designs and planning opportunities, but the time consumption for printing should be considerably less so that it would be profitable from podiatrist's point of view</p>	
Keywords	foot orthoses, 3D printing, impression casting technique, CAD/CAM



## Sisällys

1	Johdanto	1
2	Tukipohjallisprosessi	2
2.1	Tukipohjallistarpeen arviointi	3
2.2	Tukipohjallisprosessia varten tehdyt tutkimukset	4
2.3	Jalkaterän mallin jäljentäminen	6
2.4	Tukipohjallisen ominaisuuksien suunnittelu	8
2.5	Materiaalien valinta.	9
2.6	Lopullisen tuotteen valmistaminen	10
3	Opinnäytetyön tarkoitus, tavoite ja tutkimuskysymys	13
4	Opinnäytetyön menetelmälliset ratkaisut	13
4.1	Aineiston kerääminen	14
4.2	Aineiston analysointi	14
5	Tulokset	15
5.1	Aika	15
5.2	Kustannukset	17
6	Tukipohjallisprosessien vahvuudet ja heikkoudet	18
6.1	Jalan mallinnus	19
6.2	Ominaisuuksien suunnittelu	20
6.3	Materiaalien valinta	21
6.4	Lopullisen tuotteen valmistaminen	21
6.5	Vahvuuksien ja heikkouksien yhteenveto	21
7	Pohdinta	22
	Lähteet	26



## 1 Johdanto

Tukipohjalliset ovat olleet jo sadan vuoden ajan osa alaraajojen ja jalkaterien terapiaa (Stolt ym. 2017: 270). Ne ovat keskeinen jalkaterapian hoitomuoto ja niitä valmistetaan erilaisilla tekniikoilla. Tukipohjallisen tarkoituksena on pitää alaraajan biomekaniikka mahdollisimman optimaalisena suhteessa sen toiminnallisuuteen. Tukipohjallisia voidaan käyttää hoitona erilaisiin jalkaongelmiin, olivat ne sitten toiminnallisia tai rakenteellisia. (Philps 1998: 3-6.)

Kipsijäljennöksen avulla valmistettujen tukipohjallisten menetelmät ovat vakiintuneet vuosien saatossa ja niihin ei luultavasti ole enää muutoksia luvassa. 3D-tulostaminen on vasta tulossa jalkaterapian hoitomuotoihin mukaan, joten potentiaali sen kehittämiseen on huomattavasti suurempi. Opinnäytetyöllä pyritään osoittamaan jalkaterapia-alan ammattilaisille ja –opiskelijoille, että 3D-tulostamista olisi jo nyt harkittava erityisesti tukipohjallisten valmistuksessa.

Opinnäytetyön tarkoituksena oli vertailla kahdella eri tekniikalla valmistettujen tukipohjallisten prosesseja. Vertailun kohteena on kipsijäljennöksen avulla valmistettu tukipohjallinen sekä 3D-tulostettu tukipohjallinen, jossa käytetään CAD/CAM-mallinnusta hyödyksi. Opinnäytetyö avaa molempien tekniikoiden prosessit yksityiskohtaisesti ja tarkoituksena on vertailla prosessikuvauksia keskenään ajan, kustannusten ja heikkouksien ja vahvuuksien suhteen. Prosessikuvauksien arviointi perustuu ennalta määrättyihin tekijöihin, joita ovat asiakkaan tutkiminen, jalan mallinnus, tukipohjallisen ominaisuuksien suunnittelu, materiaalien valinta ja lopullisen tuotteen valmistaminen.

Opinnäytetyön toteutuksessa hyödynnettiin suomalaisen miniFactoryn laitteita 3D-tukipohjallisten tulostamiseen.

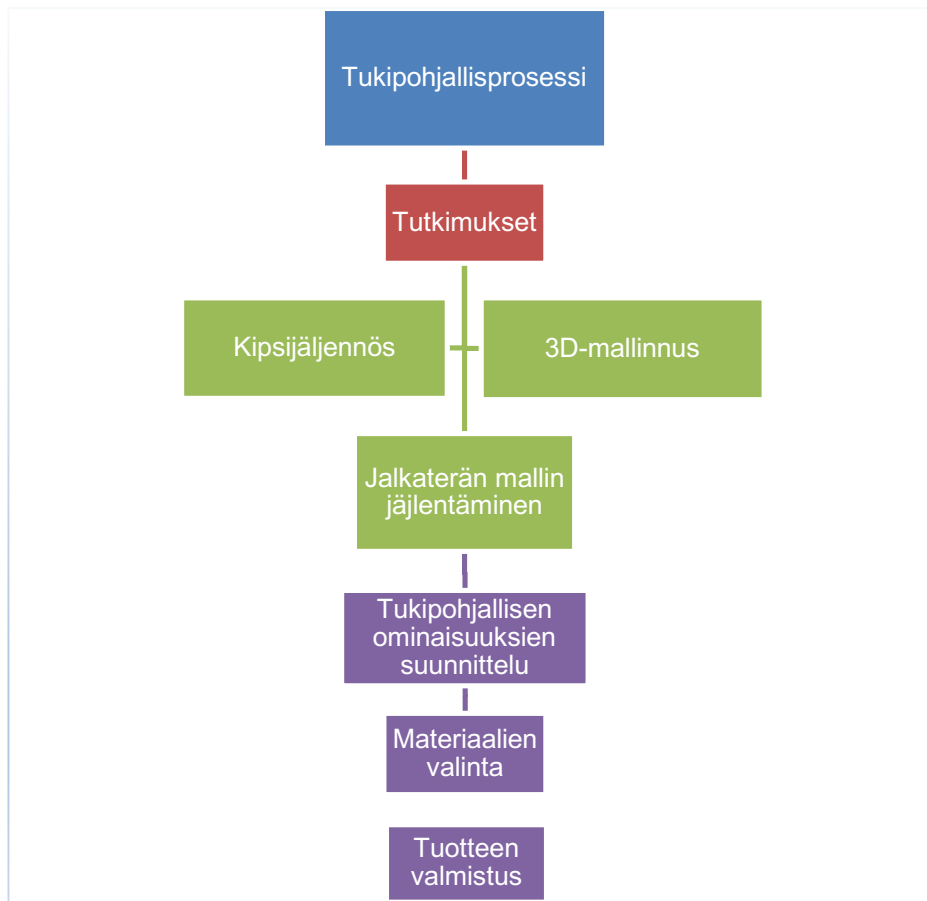
## 2 Tukipohjallisprosessi

Tukipohjalliset ovat kenkien sisään laitettavia apuvälineitä, joiden tarkoitus on korjata jalkaterien toimintoja sekä ehkäistä virheasentojen mahdollisia kompensatioita. Jalkaongelmista sekä sairauksista riippuen tukipohjallisterapia voi olla tehokas hoitomuoto ja siksi sitä käytetään myös jalkaterapiassa. (Liukkonen - Saarikoski 2011: 419.)

Opinnäytetyössä käytettiin perinteistä tukipohjallistekniikkaa eli kipsijäljennöksen avulla valmistettuja tukipohjallisia sekä CAD/CAM-mallinnusta käyttäen valmistettuja 3D-tulostettuja tukipohjallisia. 3D-tulostettujen tukipohjallisten jalan mallinnukseen käytettiin Delcam-skanneria, suunnitteluun Orthomodel 2016-ohjelmistoa sekä niiden valmistamiseen miniFactoryn Innovator 3D-tulostinta.

Tukipohjallisten valmistaminen on prosessi, joka koostuu monista eri vaiheista ja perustuu ryhdin ja kävelyn analyysiin, biomekaanisiin tutkimuksiin sekä anatomian ja fysiologian tuntemukseen. Näihin kuuluu asioita kuten jalkojen kuormittuminen, nivelten liikkuvuudet, kipualueet, lihasvoimat ja kontrolli, pystyasento, virheasennot, ihon kunto sekä asiakkaan perustiedot ja sairaudet. Huomioon otetaan myös asiakkaan työt ja harrastukset sekä mihin tarkoitukseen ja millaisiin jalkineisiin pohjalliset valmistetaan. (Valmassy 1996: 280.)

Lisäksi asiakkaan jalkateristä tarvitaan muotit käyttäen eri menetelmiä kuten kipsinauhaa tai tietokonepohjaista CAD-CAM-skanneria. Näihin menetelmiin tehdään tarvittavat korjaukset ja muokkaukset. (Philps 1998: 26-27.)



Kuvio 1. Tukipohjallisprosessin vaiheet.

## 2.1 Tukipohjallistarpeen arviointi

Asiakastilanteet tukipohjallistarpeen arvioinnissa alkavat haastattelulla ja perustietojen keräämisellä. Haastattelu ja tietojen kerääminen ovat tärkeää siksi, että jalkaterapeutti saa yleiskuvan asiakkaan voinnista ja pystyy jo näiden perusteella suunnittelemaan hoitoa. (Liukkonen, Saarikoski, 2011: 470). Lisäksi visuaaliset havainnot ja palpaatio antavat tärkeitä tietoja, koska näin saadaan tietää esimerkiksi se, että missä kipupisteet tai tunnottomat alueet sijaitsevat. Palpaatio ja visuaaliset havainnot ovat siis tärkeitä jatkotutkimuksien tarkentumiseen. Tärkeimmistä jatkotutkimuksista tukipohjallisten valmistamiseen ovat nivelten asennot ja liikkuvuudet sekä erityisesti nilkan alueen liikkuvuus, esimerkiksi kantaluun inversion ja eversion liikelaajuudet. (Valmassy 1996: 298.) Näistä tekijöistä muodostuvat ne rakenteelliset asennot, joissa alaraaja on, kun se ottaa ensimmäisen kontaktin maahan kävelyn tai juoksun aikana sekä miten alaraaja mahdollisesti kompensoi virheasentoja. Alaraajan asennot vaikuttavat kompensaa-

tioihin ja tukipohjallisilla pyritään vähentämään kompensatioita ja tavoittelemaan alaraajan oikeaa linjausta. (Goldberg - Hsu, 1997: 463.)

Lihassoimat ja lihasvoimien kontrolli, jalkapohjien kuormitukset ja kipupisteet ovat oleellisia tutkittavia. Näitä tutkittaessa nähdään, miten lihakset tukevat alaraajan toimintoja ja johtuuko ongelmat lihaksien mahdollisista epätasapainoista. Kävelyanalyysi on tärkeä tehdä, että näkee missä kävelysyklin vaiheessa ongelmia ilmenee ja tukeeko aikaisemmin tehdyt tutkimukset jalkaterapeutin arviointia tuloksien yhteydessä. Ylipääntään jalkaterapeutin tavoitteena tukipohjallistarpeen arvioinnilla on syyn selvittäminen ja sitä kautta oireiden helpottaminen tai poistaminen. (Philps 1998: 5-6.)

## 2.2 Tukipohjallisprosessia varten tehdyt tutkimukset

Tutkimusten avulla haetaan ymmärrystä alaraajojen biomekaniikasta ja toiminnallisuudesta. Tärkeää on käsittää alaraajojen nivelten suhteita (kulmat/asteet) toisiinsa sekä alustan ja kuormituksen vaikutusta niihin. Olennaista on tutkia myös lihaksien vaikutusta edellämainittujen tekijöiden suhteen.

Alemman nilkkanivelen on oltava neutraaliasennossa ja keskitarsaalnivelen maksimaalisessa pronaatiossa, jotta pystytään tarkasti mittaamaan nilkkanivelen liikelaajuus. Tätä standardoitua asentoa käytetään lähtökohtana liikelaajuuksien mittaamiseksi, koska kyseisessä asennossa nilkan luut linjautuvat optimaalisimmin luoden nilkan asennosta vakaan. Se ilmenee kävelyn keskitukivaiheessa, jolloin alemman nilkkanivelen tulisi olla neutraaliasennossa ja ylemmän nilkkanivelen tulisi olla dorsifleksoitunut sekä keskitarsaalnivelen pronatoitunut. (Weber 1993: 12-13.)



Tukipohjallisprosessissa tulisi toteuttaa ainakin seuraavat tutkimukset:

Taulukko 1. Tutkimukset

Alemman nilkkanivelen (STJ) liikelaajuus ja neutraaliasento	Kantaluun liikelaajuuden normaaliarvoina pidetään 20 astetta inversioon ja 10 astetta eversioon. Alemman nilkkanivelen neutraaliasento on 0-4 astetta varusta. Poikkeukset vaikuttavat tukipohjallisen takaosan muotoon ja tukevuuteen
RCSP, NCSP ja säären asentojen suhteet keskenään, joiden arvot ovat yhteydessä alemman nilkkanivelen liikelaajuuteen	Näiden tutkimusten tulosten avulla saadaan tietää, miten merkittävä tukipohjallisen sisätuen pitää olla. Säären asennosta nähdään, miten tukipohjallinen tulee mahdollisesti vaikuttamaan koko alaraajan linjaukseen
Ylemmän nilkkanivelen (TC) liikelaajuus	Kävelyssä tarvitaan 10 astetta dorsifleksiota, joka vaikuttaa tukipohjallisen takaosan korkeuteen
Keskitarsaalnivelen liikkuvuus, 1- ja 5-säteen liikkuvuus ja jalkaterän etuosan suhde takaosaan	Vaikuttavat jalkaterän stabiliteettiin. Mahdolliset muutokset tukipohjallisen etuosassa
1-varpaan liikelaajuus ja asento	Vaikuttavat jalkaterän toimintaan kävelyn aikana. Muutokset tukipohjallisen 1-varpaan tyvinivelen alueella
Holvikaari	Rakenne ja toiminnallisuus. Näiden perusteella määritellään tukipohjallisen pitkittäiskaaren alueen korkeus
Podotrack-tallennuspaperi	Saadaan tietoa jalkapohjan kuormituksesta ja nähdään alueet, joita pitää keventää tai tukea
Säären ja nilkan alueen lihasvoimat sekä kontrolli	Tärkeimpänä takimmaisena säärilihasen toiminnallisuus. Kyseisillä tutkimuksilla todetaan, että kuinka paljon pystytään vaikuttamaan ongelmatapauksiin lihasharjoitteilla ja lihaksien tuennalla. Lisäksi nähdään kuinka paljon pitää vaikuttaa ja tukea tukipohjallisilla. Takimmainen säärilihas on lihas, joka selkeästi vaikuttaa jalkaterän pronaatiossa. Tämän lihaksen vajaatoiminnan seurauksena ratkaisu on tyypillisesti tukipohjallinen

Lisäksi huomiota kiinnitetään myös polven ja lonkan liikelaajuuksiin/asentoon sekä seisoma-asentoon koska ne vaikuttavat myös kävelyyn. Kävelyanalyysi tapahtuu näin helpommin koska "ongelmakohdan" löytäminen onnistuu paremmin ja mahdollisen pohjallisen muoto tarkentuu. (Liukkonen - Saarikoski 2011: 201-222, 235; Valmassy 1996: 298; Philips 1998: 5-6; Weber 1993: 12-13.)

### 2.3 Jalkaterän mallin jäljentäminen

Tukipohjallisen tavoitteena on saada jalkaterän toiminnot mahdollisimman optimaaliseksi, joten jalkateristä otettavat mallinnukset ovat valmistettava siten, että alempi nilkkanivel on neutraaliasennossa. Tällöin jalkaterän virheasennot saadaan kopioitua kompensoitumattomassa asennossa. (Valmassy 1996: 297.)

Käytettäessä perinteistä tekniikkaa asiakas asettuu selin- tai vatsamakuulle hoitopöydälle. Asiakkaalle piirretään kantaluun puolitussuora, jonka avulla jalkaterapeutti pystyy määrittämään alemman nilkkanivelen liikelaajuudet. Tarkoitus on myös, että piirretty kantaluun puolitussuora jäljentyy kipsinegatiiviin ja helpottaa jalkaterapeutin hahmottamista, kun asiakkaan alemman nilkkanivelen neutraaliasentoa aletaan määrittämään tukipohjalliseen. Kipsinegatiivilla tarkoitetaan kipsinauhan avulla otettua jäljennöstä kompensoitumattomasta jalkaterästä. (Liukkonen - Saarikoski, 2011: 225, 420-423; Philips 1998: 26-27). Kipsinauhasta leikataan oikean kokoiset palat ja ne kastetaan veteen ennen asettamista asiakkaan jalkaterän ympärille. Kipsinauhan yläreunat ovat tarpeellista taittaa kaksinkerroin kipsinegatiivia valmistaessa, erityisesti kantaluun alueella, koska se helpottaa kipsinegatiivin poistamisessa ja lisäksi vahvistaa sen rakennetta. (Valmassy 1996: 297.)

Asiakkaan alempi nilkkanivel pyritään pitämään neutraalissa asennossa koko kipsinegatiivin valmistuksen ajan. Tämä tapahtuu siten, että toisella kädellä tunnustellaan telaluun kaulan päätä ja toisen käden peukalolla 4-5 varpaiden tyvinivelten alueelta työnnetään siten, nilkka on 90 asteen kulmassa eli keskitarsaal nivel lukittuu maksimaaliseen pronaatioon. (Liukkonen - Saarikoski 2011: 421-423.) Jalkaterä asetetaan asentoon, jossa telaluun pää tuntuu saman verran sekä lateraaliosalla, että mediaalisella puolella. Näin saadaan alempi nilkkanivel neutraaliasentoon. Kaikki virheasennot, jotka ovat aikaisemmissa tutkimuksissa havaittu pitäisi myös tässä vaiheessa havaita. Kun

kipsinauha saa asiakkaan jalkaterän negatiivimuodon ja kuivuu, se poistetaan jalkaterän ympäriltä. Vaihe toistuu toiseen jalkaan. Kipsinegatiivista saadaan jalan positiivimuoto kipsistä asettamalla lisää kipsimassaa negatiivin sisään ja samalla huomioon ottaen jalkaterän etuosan muutokset. Tämän jälkeen negatiivimuoto poistetaan. Vaihe on tärkeä tehdä oikein, koska se vaikuttaa koko pohjallisen valmistumiseen. Tämä tarkoittaa, sitä että alemman nilkkanivelen neutraaliasento sekä jalkaterän etuosan- ja muiden virheasentojen pitäisi pysyä samassa asennossa siihen asti, kunnes negatiivimuoto poistetaan. Esimerkiksi, jos alempi nilkkanivel ei ole neutraaliasennossa tai kipsinegatiiviin tulee epämuodostumia, johtuen siitä, että kipsi ei ole ehtinyt kuivumaan riittävästi, saattaa jalkaterapeutille jäädä väärä käsitys jalan oikeasta muodosta ja tukipohjallisen toteutus epäonnistuu. (Valmassy 1996: 290.)



Kuva 1. Kipsinegatiivi kahdesta eri kuvakulmasta.

Kun kipsinegatiivi on kuivunut, se poistetaan varovasti jalkaterän ympäriltä niin, että kaikki muodot säilyvät. Kipsinegatiiviin saattaa sen valmistuksen aikana jäädä pieniä reikiä tai rakenne ei muuten ole tarpeeksi vahva, jolloin on tarpeellista lisätä kipsinauhaa paikkaamaan reikiä tai rakennetta. Kipsijauhoa sekoitetaan veteen ja massa asetetaan kipsinegatiivin sisään yläreunaan asti. Tarpeen mukaan asetetaan kipsinegatiivin etuosan alle jotain materiaalia, että saadaan kantaluun puolitussuora suoraksi. Kun kipsipositiivin massa on kuivunut, kipsinegatiivi irroitetaan sen ympäriltä. Mahdolliset epämuodostumat kipsipositiivin yläpinnasta hiotaan pois hiomapaperilla/raspilla, ettei kipsipositiivi menisi halki vakuumpiirissä. Tärkeää on myös tehdä kipsimallista tarpeeksi vahva sekoittamalla kipsijauhoa ja vettä sopivassa suhteessa, että se ei myöhemmässä vaiheessa rikkoonnu. (Valmassy 1996: 298-299.)



Kuva 2. Kipsipositiivi.

Käytettäessä CAD/CAM-teknologiaa yksi (yleisin) tapa jäljentää jalkaterän muoto on niin, että asiakas istuu tuolilla ja asettaa jalan kerrallaan CAD-CAM-skannerin pintaan. Polvi on noin 90 asteen kulmassa ja alempi nilkkanivel neutraalissa asennossa puolikuormitettuna. Vaihe on tärkeä, koska näin saadaan 3D-mallinnus jalkaterästä, jota hyödyntäen työskennellään jatkossa pohjallisia tehdessä. Kyseisiä asentoja (90 asteen kulma, puolikuormitettuna) käytetään, koska näin saadaan helpommin alemman nilkknivelen neutraaliasento sekä parempi kuva jalan oikeasta koosta (pituus, leveys, korkeus). (Telfer - Woodburn 2010).

#### 2.4 Tukipohjallisen ominaisuuksien suunnittelu

Perinteisellä tekniikalla kipsinegatiivi valmistetaan kuormittamattomassa tilassa, joten asiakkaan mahdolliset virheasennot on huomioitava muutoksia ja korjauksia tehdessä lisäämällä kipsimassaa kipsipositiivin haluttuihin kohtiin. Kipsin leveys, etuosan suhde takaosaan, mediaali- ja lateraalisivut sekä kaaren korkeus ovat lähtökohtaisesti tärkeimmät kohdat. Koska kipsipositiivi tehdään kuormittamattomaan tai puolikuormitettuun jalkaterään, on kipsipositiivia levennettävä, että tuleva pohjallinen vastaa paremmin jalan kuormitustilaan ja joustoon. Jalkaterän pitkittäiskaaren alueelle lisätään massaa, että pohjallinen ei paina aluetta kuormitustilassa. Sustentaculum talin kohtaan ei kuitenkaan lisätä massaa, koska tämän alueen korkeus vaikuttaa ”ylipronaation” estämiseen/nilkan tukemiseen. Jotta saadaan tarkempia korjauksia, on tärkeää tehdä merkkejä kipsiin ainakin päkiän alueen 1- ja 5-tyviniveliin kohtiin sekä kantaluun puolitusuora. Kipsimuotin ja korjausmassan erilaiset värit helpottavat korjauksien hahmottamista. Kyseinen vaihe on olennainen, koska tämän avulla muodostuu seuraavassa vaiheessa pohjallisen yläpinta, joka ottaa kontaktia jalanpohjan kanssa. Tarkat kipsi-

muotin muokkaukset tässä vaiheessa helpottavat ja vähentävät jatkotyötä. (Valmassy 1996: 300-301.)

3D-mallinnuksessa siirretään skannerin tuottamat, STL-muodossa olevat, kuvatiedostot muokkausohjelmaan ja tehdään asiakkaalle oma kansio. Asiakkaalle valitaan oikea pohjallisen koko ja sovitetaan pohja jalan 3D-malliin. Sovittelu ja korjaukset tapahtuvat aina asiakkaan tarvetta huomioiden, periaatteet ovat samat kuin kipsinauhamenetelmässä. Kyseinen mallinnusohjelma antaa suuren määrän mahdollisuuksia muokata tukipohjallista haluamaansa suuntaan ja toteutus on huomattavasti nopeampaa. Lisäksi tällä menetelmällä saadaan parempi kuva siitä, että minkälainen tukipohjallinen tulee olemaan ja miten sen pitäisi vaikuttaa jalkaterän ja/tai nilkan alueelle. Vaihe on merkittävä, koska tässä suunnitellaan jo pohjallisen lopullista muotoa. (Gibson 2014).

## 2.5 Materiaalien valinta.

Materiaalit tukipohjallisiin valitaan aina yksilöllisen tarpeen ehdoilla (Lusardi 2000: 12). Esimerkiksi kantaluun liiallisen valgus-asennon korjaamiseksi tarvitaan shore-luvultaan jäykempää materiaalia. Shore-luvulla määritellään materiaalin kovuus asteikolla 0-100, jolloin mitä kovempi materiaali on kyseessä, sitä korkeampi luku saadaan. (Cornwall 2017.)

Perinteistä tekniikkaa käytettäessä materiaalivaihtoehtoja on enemmän käytössä tällä hetkellä. Yleisimmät materiaalit ovat EVA, kumikorkki, lasikuitu, poron ja Luna. Materiaaleja voidaan käyttää myös eri kerroksissa, riippuen siitä, mihin tukipohjallisella pyritään vaikuttamaan. Jos halutaan esimerkiksi paljon pronaatiokontrollia, valitaan jäykkä runkomateriaali. Kyseiseen tukipohjalliseen voidaan kuitenkin tarvittaessa lisätä myös poronia iskunvaimentimeksi. Perinteisellä tekniikalla valmistettujen tukipohjallisten osalta opinnäytetyössä päädyttiin EVA-materiaaliin. **EVA** tulee sanoista etyyli, vinyyli ja asetaatti. Materiaalista noin 10-40% on vinyyliasetaattia ja loppuosa etyyliä. EVA on lämpömuokattava avosoluinen polyuretaanimuovi, jonka lämpömuokattavuus on noin 140 asteessa. (Ahonen, Kantola yms. 2004: 402.) Koostumukseltaan EVA on kumiainen materiaali, joka on sekä kestävä, että joustava. Materiaalin tekee ainutlaatuisiksi alkuperäisten ominaisuuksien säilyvyys ja sen iskunvaimennuskyky. (Nicolopoulos 2000: 2; Philips 1995: 58.)

Opinnäytetyötä varten käytetyssä 3D-tulostimessa materiaalivaihtoehdot olivat rajatut. PLA-muovi oli ainut vartenotettava materiaali tukipohjallisten tulostamiseen (miniFactory 2017). **PLA**, eli polylaktidi on biopolymeeripohjainen, osakiteinen muovi, joka valmistetaan uusiutuvista raaka-aineista, kuten maissitärkkelyksestä ja sellulosesta.

PLA saattaa on hieman hauraampi kuin muut kestumuovit, mutta sen hyvä vetolujuus ja pinnanlaatu tekevät siitä mainiosti soveltuvan 3D-tulostamiseen. (Hausman 2014: 66.) PLA:n raaka-aineet ovat uusiutuvia luonnonvaroja ja täten se on myös biohajoavaa (Elias 2003: 281-284). Se on yksi yleisimmin käytetyistä materiaaleista 3D-tulostamisessa juuri sen ympäristöystävällisyyden ja sen helpon työstämisen takia. PLA-muovin pehmenemislämpötila on 60 asteessa, joten tarvittaessa sitä voidaan helposti jatkokyöstää esimerkiksi kuumailmapuhaltimella. (Hausman 2014: 185-187.)

3D-tulostamista ei ole hyödynnetty Suomessa harjoitettavassa jalkaterapiassa juuri-kaan, joten käytettävistä materiaaleista ei ole tutkittua tietoa. Materiaalin valintaan päädyttiin yhdessä yhteistyöyrityksen kanssa.

## 2.6 Lopullisen tuotteen valmistaminen

Materiaalivalinnan jälkeen leikataan sopivat palat tukipohjallismateriaalia. Materiaalit lämmitetään uunissa ja ne asetellaan kipsiposiiviin plantaariselle puolelle, jotka siirretään vakuumpressiin. Vakuumpressiin syntyy alipaine, joka imee tukipohjallismateriaalin tiiviisti kipsiposiiviin ympärille ja näin vakuumpressi mallintaa tarkasti kipsiposiivin tukipohjallismateriaaliin. Kun kipsin muoto on painettu materiaaliin, tukipohjallisiaihion työstäminen jatkuu hiomisella. Tukipohjallisen muoto, leveys, sivujen korkeudet sekä kaaren alueen paksuus on otettava hiomisessa huomioon. Tukipohjallisiaihion alapinta, mediaali- ja lateraalireunat, pitkittäiskaaren alue sekä kantapään muoto hiotaan hiomakoneella haluttuun malliin, joka takaa tukipohjallisen hyvän istuvuuden jalkineessa. Tavoitteena on lisäksi, että asiakkaan jalkaterä mahtuu hyvin jalkineeseen, tukipohjallinen tai jalkine ei hierrä ja halutut pohjallisen ominaisuudet vaikuttavat jalan linjaukseen optimaalisesti. (Philps 1998: 63-68.)

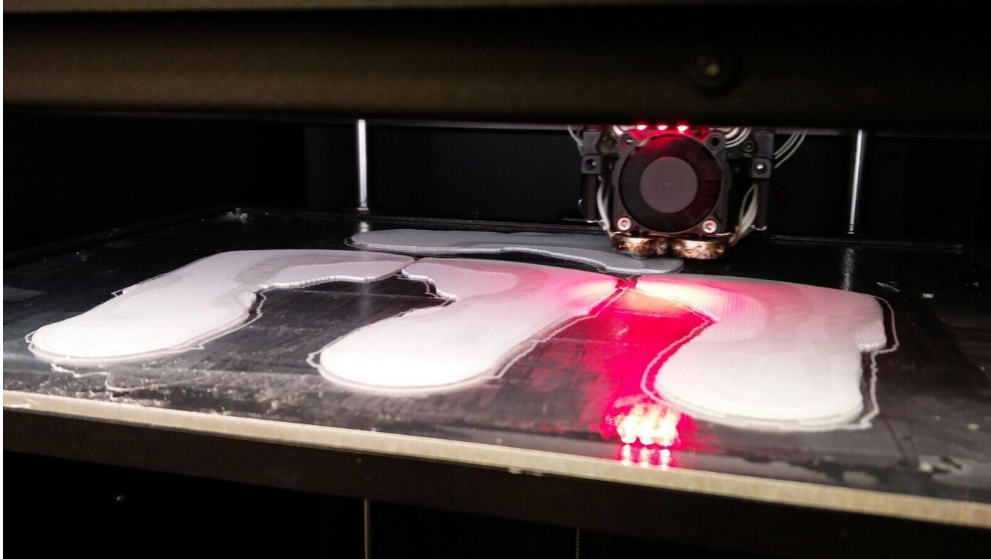


Kuva 3. Kipsijäljennöksen avulla valmistettu tukipohjallinen.

Kyseisessä vaiheessa on oltava erityisen huolellinen, koska virheiden tapahtuessa niiden korjaaminen on vaikeaa ja vie huomattavasti aikaa.

Tukipohjallisen hiomisen jälkeen, siihen yleensä liimataan päällyspinta. Tukipohjallisen ja liimattavan päällyspinnan toiset puolet liimataan vetokaapissa ja liiman annetaan kuivua. Liiman kuivuttua, kappaleet laitetaan päällekkäin ja liima aktivoidaan esimerkiksi kuumailmapuhaltimella, jolloin saadaan parempi lopputulos liiman kestävyuden kannalta. Päällysmateriaalia kannattaa käyttää siten, että se tulee tukipohjallisen kaikilta reunoilta hieman yli, jolloin hiomakoneella viimeisteltäessä lopputulos saadaan näyttämään esteettiseltä ja lisäksi päällysmateriaali ei irtoa reunoilta niin helposti. (Philps 1998: 63-68.)

Kun CAD/CAM-tekniikkaan perustuva tukipohjallinen on suunniteltu suunnitteluohjelmalla, STL- muodossa olevat tiedostot lähetetään 3D-tulostimeen. 3D-tulostin antaa automaattisesti aikamääreen, minkä aikana tuote on valmis. Opinnäytetyössä käytetty 3D-tulostin perustuu pursotintekniikkaan eli tulostamisen käynnistyessä, 3D-tulostin alkaa sulattamaan tukipohjallismateriaalia, jota se sitten levittää pursottimen avulla haluttuun malliin. (Bogue 2013.)



Kuva 4. 3D-tulostaminen vaiheessa.

Tulostimen työstämisen jälkeen lopputulos pitäisi olla käyttövalmis ilman muita muokkauksia. Suurin ero tässä vaiheessa on se, että 3D-tulostimen avulla, ammattilaisen työ on jo tehty materiaalien valinnan jälkeen. Tässä vaiheessa on hyvä tarkistaa, että kaikki halutut muokkaukset ja valinnat on tehty oikein, ettei 3D-tulostimen prosessia tarvitse keskeyttää. Korjauksia ei voi enää tässä vaiheessa pystyä tekemään, vaan prosessi on aloitettava uudestaan.



Kuva 5. CAD/CAM-mallinnuksen avulla valmistettu 3D-tulostettu tukipohjallinen.



### **3 Opinnäytetyön tarkoitus, tavoite ja tutkimuskysymys**

Opinnäytetyön tarkoituksena on selvittää kahdella eri menetelmällä valmistettujen tukipohjallisten valmistusprosessien keskeiset osa-alueet ja vertailla niitä keskenään. Tavoitteena on tuoda lisätietoa 3D-tulostamisen mahdollisuuksista tukipohjallisten valmistusprosessissa.

Tutkimuskysymyksenä on vertailla perinteisellä menetelmällä ja 3D-tulostuksen avulla valmistettujen tukipohjallisten valmistusprosessien välisiä eroja.

1. Ajan suhteen,
2. kustannusten suhteen,
3. vahvuuksien ja heikkouksien suhteen.

### **4 Opinnäytetyön menetelmälliset ratkaisut**

Opinnäytetyötä lähestyttiin monimetodisella lähestymistavalla, koska vain yhden menetelmän käyttäminen rajaa tutkimuskohdetta liaksi ja kokonaiskuva jää liian suppeaksi. (Eskola - Suoranta 1998: 69.) Tällä tarkoitetaan, että käytimme laadullista (kvalitatiivinen) sekä määrällistä (kvantitatiivinen) lähestymistapaa yhdessä. Opinnäytetyön teoriaosuus kerättiin aiheeseen liittyvistä julkaisuista sekä kirjallisuudesta. Teoriaosuus koostui perinteisellä kipsijäljennöstekniikalla valmistettujen pohjallisten teoriasta

Tutkimusosuudet suoritettiin Metropolian Ammattikorkeakoululla. Tukipohjallisuusprosessien osa-alueiden keskiarvoajat mitattiin sekuntikelloa käyttämällä. Kaikki käytetyt laitteet ja materiaalit olivat Metropolian toimipisteestä, poislukien 3D-tulostin, joka oli yhteistyöyrityksen. Kustannukset laskettiin yhteistyöyrityksen sekä sähköisistä tietokannoista saaduilla tiedoilla. Tukipohjallisuusprosessien heikkoudet ja vahvuudet määriteltiin lomakkeeseen, jossa molemmat opinnäytetyön tekijöistä antoivat omat mielipiteensä kyseisestä prosessin osa-alueesta ja niiden perusteella tehtiin loppupäätelmä.

## 4.1 Aineiston kerääminen

Prosessiin luotiin tarvittavat arviointi- ja tutkimuslomakkeet ja näillä arvioitiin prosessia. Aika määritettiin siten, että tukipohjallisprosessin eri osuuksissa mitattiin aikaa sekuntikellolla ja se sitten kirjattiin tutkimuslomakkeeseen. Kukin prosessin vaihe toteutettiin neljä kertaa eli molemmat opinnäytetyön tekijät suorittavat osion kahdesti, joista laskettiin keskiarvo. Prosessin eri vaiheissa toinen opinnäytetyön tekijöistä suoritti aina meilläään olevan osion, jolloin toinen tekijöistä otti sekuntikellolla aikaa. Saadut tulokset kirjattiin lomakkeeseen.

Kustannukset selvitettiin yhteistyöyrityksen ja Nahkakunta-nimisen yrityksen avulla sekä Sairaalatukun internet-sivuilta. Perinteisellä tekniikalla valmistettujen tukipohjallisten kustannuksiin kuuluivat hiomakone, vakuumpressi, uuni sekä materiaalien puolesta suojaliina, käsineet, hengityssuojain ja EVA-materiaali. CAD/CAM-mallinnuksella valmistettujen tukipohjallisten kustannuksiin kuuluivat 3D-tulostin, skanneri, suunnitteluohjelmisto ja sen lisenssi sekä materiaaleista PLA-muovinauha (taulukko 3). Vahvuudet ja heikkoudet kerättiin lomakkeelle siten, että molemmat opinnäytetyöntekijöistä ilmaisivat kyseisen prosessin osa-alueesta vahvuudet ja heikkoudet ja ne kirjattiin lomakkeeseen (taulukot 4 ja 5).

## 4.2 Aineiston analysointi

Käytetty aika mitattiin sekuntikellon avulla neljästä eri suorituksesta ja niiden keskiarvot laskettiin. Saadut tulokset kirjattiin tutkimuslomakkeeseen. Kustannukset laskettiin yhteistyöyritys miniFactoryn avulla, josta saatiin 3D-tulostimen kustannusarvio sekä tutkimalla Sairaalatukun internet-sivuja. Sairaalatukun internet-sivuilta saatiin laskettua kustannukset kipsijäljennöksen avulla valmistettujen tukipohjallisten valmistukseen käytettyihin suojavälineisiin. Lisäksi Nahkakunta-niminen yritys toimitti sähköpostin välityksellä perinteisellä tekniikalla toteutettujen tukipohjallisten valmistukseen tarvittavien laitteiden kustannukset. Saadut kustannukset kirjattiin tutkimuslomakkeeseen. Lisäksi tukipohjallisprosessin heikkoudet ja vahvuudet kirjattiin erilliseen lomakkeeseen siten, että opinnäytetyöntekijät antoivat oman mielipiteensä kyseisen osion vahvuuksista ja heikkouksista. Saaduista mielipiteistä opinnäytetyön tekijät kokosivat lopuksi yhteisen yhteenvedon.

## 5 Tulokset

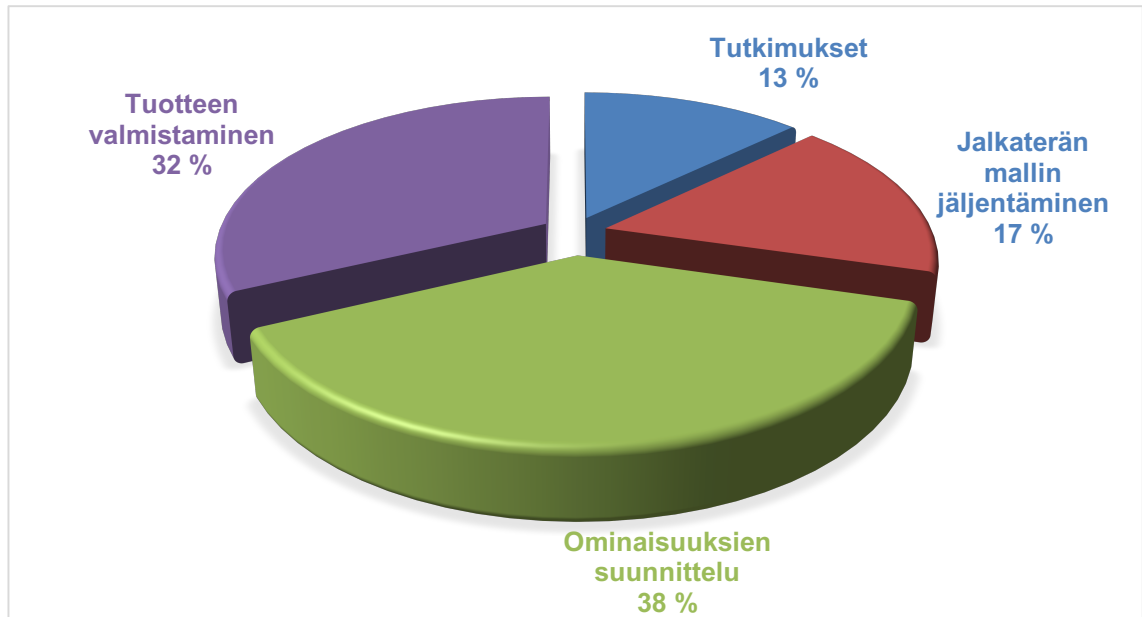
### 5.1 Aika

Tulokset näyttävät ajan suhteen siltä, että kipsijäljennöksellä valmistetut tukipohjalliset ovat huomattavasti nopeampi tapa valmistaa tukipohjallisia. Kuitenkin tässä on otettava huomioon, että työ sitoo koko 155 minuutin ajaksi jalkaterapeuttia. Kokonaiskesto 3D-tulostetuissa tukipohjallisissa (699min) on erittäin pitkä, mutta tarve jalkaterapeutin läsnäololle on ainoastaan ensimmäisten 69 minuutin ajalta. Kun 3D-tulostin on laitettu tulostamaan voi jalkaterapeutti kyseisen ajan tehdä muita töitä.

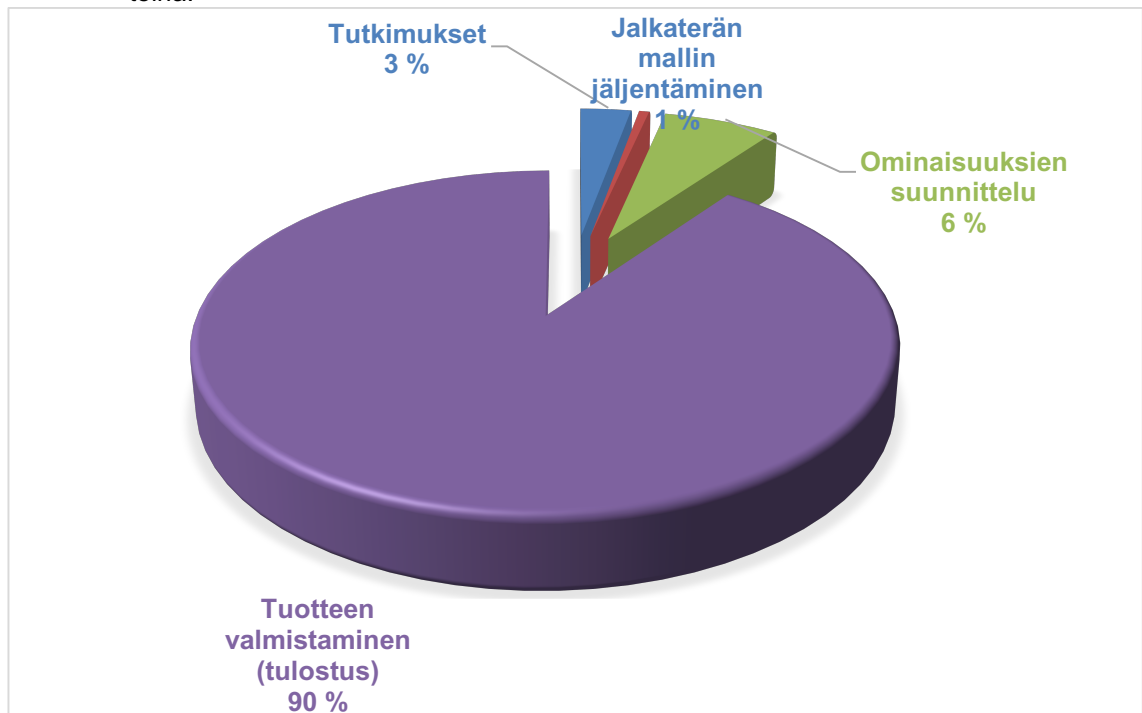
Taulukko 2. Prosessiin käytetty aika vaiheittain.

	Kipsijäljennös	3D
Tutkimukset	20min	20min
Jalkaterän mallin jäljentäminen	26min	4min
Tukipohjallisten ominaisuuksien suunnittelu	30min+30min (kipsin kuivuminen )	45min
Materiaalinen valinta	-	-
Tuotteen valmistaminen	Uuni+prässi+hionta 50min	630min (tulostus)
Yhteensä	155min	699min

Tutkimuksiin kuuluivat kohdassa 2.1.1 mainitut tutkimukset. Kyseiset tutkimukset tehtiin molemmissa eri menetelmissä samoin tavoin. Jalkaterän mallinnuksessa kipsimenetelmää käyttäen aikaa kului 26 minuuttia. Mallinnus CAD/CAM-menetelmää käyttäen onnistui 4 minuutissa, joten erotus oli 22 minuuttia. Kipsipositiiviin tehtäviin tarvittaviin muokkauksiin kului aikaa 30 minuuttia, jonka lisäksi lisäsimme kipsin kuivumiseen kulueneen ajan (30min) kyseiseen kohtaan. Mallinnusohjelmassa käytetty aika tarvittavien muokkausten tekemiseen oli 45 minuuttia eli erotus oli 15 minuuttia. Lopullisen tuotteen valmistamiseen kipsijäljennöksessä kului aikaa 50 minuuttia. Tämä sisälsi EVA-materiaalin lämmittämisen uunissa, vakuumpressäyksen sekä hionnan. 3D-tulostetussa tukipohjallisessa kyseinen kohta tarkoitti lopullisen tuotteen tulostamista, johon aikaa kului 630 minuuttia. Erotus kipsijäljennökseen oli 580 minuuttia.



Kuvio 1. Kipsijäljennöksen avulla valmistettujen tukipohjallisten prosessin aikataulutus prosentteina.



Kuvio 2. CAD/CAM-mallinnuksen avulla valmistettujen 3D-tulostettujen tukipohjallisten prosessin aikataulutus prosentteina.

## 5.2 Kustannukset

Tuloksissa kustannusten suhteen on huomattava erotus (7443,3€) kipsijäljennöksen avulla valmistettujen tukipohjallisten hyväksi. Huomioitavaa tässä on kuitenkin, että kipsijäljennöksen avulla valmistettujen tukipohjallisten valmistamiseen kuuluu materiaalien lisäksi mm. suojarusteet, jotka ovat toki pieni kuluerä.

Laittekustannuksissa on toki selkeä ero kipsijäljennöksen avulla valmistettuihin tukipohjallisiin, mutta 3D-tulostimen, skannerin ja suunnitteluohjelmiston hankittuaan jalkaterapeutille ei muita kuluja materiaalikustannusten jälkeen pitäisi tulla.

Taulukko 3. Prosessin kustannukset eri menetelmissä.

Kustannukset	Kipsijäljennös	3D
Laitteet	5500€ hiomakone 1650€ vakuumpressi 2400€ uuni	8000€ 3D-tulostin 7000€ Skanneri 2000€ Suunnitteluohjelmisto
Materiaalit	4,53€ EVA	2,4€ PLA-muovinauha
Muut kulut	0,196€ suojaliina 0,029€ käsineet 2,95€ hengityssuojain 1,4€ Podotrack	0€
Yhteensä	9559,1€	17002,4€

Laitteisiin, jolla kipsijäljennöksellä valmistettavat tukipohjalliset valmistetaan kuuluvat hiomakone, vakuumpressi sekä uuni, jossa tukipohjallismateriaali lämmitetään. 3D-mallinnuksella valmistettaviin tukipohjallisiin kuului 3D-tulostin, skanneri ja suunnitteluohjelmisto. Materiaali kipsijäljennöstukipohjallisessa oli levy 15mm EVA-materiaalia. EVA-materiaalilevy maksoi 67€ (levyn koko 94 x 94cm), josta laskettiin tukipohjallispariin käytetty materiaali (26 x 23cm). 3D-tulostetussa tukipohjallisessa materiaaleihin kuului PLA-muovinauha, joka kustansi 40€ kilolta. Tästä laskettiin tukipohjallispariin käytetty materiaali (60g), josta saatiin laskettua materiaalikustannukset. Muihin kuluihin kipsijäljennöstukipohjallisessa kuuluivat kipsiä työstettäessä tarvittavat suojarusteet eli suojaliina, käsineet ja hengityssuojain sekä Podotrack-tallennuspaperi. 3D-

tulostetuista tukipohjallisista ei laitteiden ja materiaalien lisäksi tullut muita kustannuksia. Kaikki hinnat ovat ilman arvonlisäveroa.

## 6 Tukipohjallisprosessien vahvuudet ja heikkoudet

Opinnäytetyön yhtenä tutkimuskysymyksenä oli vertailla perinteisellä tekniikalla valmistettujen tukipohjallisten ja CAD/CAM-mallinnuksen avulla 3D-tulostettujen tukipohjallisten prosessien heikkouksia ja vahvuuksia. Tämä osio toteutettiin siten, opinnäytetyön tekijät loivat kaavakkeen, jossa molemmat prosessit pilkottiin osiin tukipohjallisprosessin kaavion mukaisesti. Kumpikin tekijöistä antoivat kaikkiin kohtiin oman mielipiteensä kyseisestä osiosta, joista tehtiin lopuksi yhteenveto. Molempien tekijöiden yhteenvedot ovat avattu taulukon alla. Asiakkaan tutkiminen suoritettiin menetelmästä riippuen samalla tavalla, joten tämä osio on jätetty tarkemmasta käsittelystä pois.

Taulukko 4. Tukipohjallisprosessien vahvuudet

	Kipsijäljennös	Kipsijäljennös	3D-tulostettu	3D-tulostettu	Yhteenveto
	Arvioija 1	Arvioija 2	Arvioija 1	Arvioija 2	
Tutkimukset	-	-	-	-	Samat tutkimukset valmistusmenetelmästä riippumatta
Jalkaterän mallin jäljentäminen	-	Tuttu menetelmä	Epäonnistuneet mallinnukset helppo tehdä uudestaan	Lyhyt kestoinen, helppokäyttöinen	Kipsi: tuttu menetelmä 3D: kesto, mallinnuksen uusiminen nopeaa
Ominaisuuksien suunnittelu	Hahmotus	Tuttu menetelmä, helpompi hahmottaminen	Nopeus	Nopea, siisti	Kipsi: hahmotus 3D: nopeus, siisti
Materiaalien valinta	Käyttötarkoitus selkeys	Laaja valikoima	-	--	Kipsi: valikoima, käyttötarkoitukset 3D: -
Tuotteen valmistus	Hahmottaminen	Helppoa, tekemät muutokset havaittavissa heti	Yksinkertainen jalkaterapeutille	Tulostimen itsenäinen työskentely, ei tarvi olla paikalla	Kipsi: hahmotus, muutosten havaittavuus 3D: ei tarvi itse olla paikalla

Taulukko 5. Tukipohjallisprosessien heikkoudet.

	Kipsijäljennös	Kipsijäljennös	3D-tulostettu	3D-tulostettu	
	Arvioija 1	Arvioija 2	Arvioija 1	Arvioija 2	Yhteenveto
Tutkimukset	-	-	-	-	Samat tutkimukset valmistusmenetelmästä riippumatta
Jalkaterän mallin jäljentäminen	Sotkuista, vaatii harjoittelua, mutta onnistuu toistojen kertyessä. Vie aikaa noin 30min.	Siivottomuus, kuivumisen aika	-	Liikkeet ja jotkut virheasennot häiritsevät skannauksen ottamaa kuvaa	Kipsi: kipsin aiheuttama lika. Kuivumiseen kuluva aika. 3D: jalka ei saa liikkua skannerilla ollenkaan, muuten kuvasta epäselvä
Ominaisuuksien suunnittelu	Kipsipöly, muokkauksien tekeminen vie aikaa	Siivottomuus, kipsiin korjaukset vievät aikaa	Hahmottamisen hieman vaikeaa, koska ei pysty pitämään itse kappaletta kädessä.	-	Kipsi: muokkausten tekemiseen käytetty aika. 3D: hahmotus
Materiaalien valinta	-	-	3D-tulostuksessa ei ole kovin paljon vaihtoehtoja materiaaliksi	-	Kipsi: - 3D: materiaalivaihtoehtojen vähyys
Tuotteen valmistus	Hiomisesta aiheutuva pöly/meteli	Meteli, pöly	Tulostamisen kesto	Kesto	Kipsi: pöly, meteli 3D: kesto

## 6.1 Jalan mallinnus

Perinteisellä tekniikalla valmistettujen tukipohjallisten jalan mallinnus vaiheesta ei löytynyt selkeitä vahvuuksia. Ainoastaan aikaisemmin kertyneen kokemuksen ansiosta oli selkeää, miten vaiheessa toimitaan. Heikkouksia olivat veden ja kipsin kanssa työsken-

telystä johtuva siivottomuus sekä kipsistä aiheutuva pöly. Haasteita aiheutti asiakkaan alemman nilkkanivelen pitäminen neutraaliasennossa kipsin kuivumisen ajan, koska asiakkaan mielestä voi olla vaikeaa pitää nilkkaa täysin liikkumattomana. Lisäksi vaiheen heikkouksiin kuuluu kipsin kuivumiseen kuluva aika.

CAD/CAM-mallinnuksen avulla valmistettujen tukipohjallisten vahvuuksia olivat vaiheen nopea toteuttaminen sekä mallinnusohjelman helppokäyttöisyys. Heikkouksina olivat jalan liikkumatta pitäminen eli jos asiakkaan jalkaterä liikahti skannauksen ottohetkellä niin kuvaa ei pystynyt käyttämään mallinnuksena. Lisäksi asiakkaan jalkaterän virheasennot aiheuttivat haasteita, esimerkiksi Haglundin deformiteetti vaikutti negatiivisesti kantapään alueen oikeaan muotoon. Yhteenvetona mainittakoon, että CAD/CAM-mallinnuksen avulla tehty mallinnus oli huomattavasti nopeampi sekä yksinkertaisempi tapa toteuttaa kyseinen vaihe.

## 6.2 Ominaisuuksien suunnittelu

Perinteisellä tekniikalla valmistettujen tukipohjallisten suurin vahvuus oli avaruudellinen hahmottaminen. Kipsipositiiviä käsissä havainnoidessa pystyi helpommin näkemään mahdolliset ongelmakohdat ja niihin pystyi reagoimaan helpommin. Heikkoutena oli kuitenkin se, että työ oli hidasta, koska ongelmakohtia havaitessa, joutui sekoittamaan lisää kipsimassaa, mikä kuivuaan luonnollisesti lisäsi tukipohjallisen tekemiseen käytettyä aikaa. Lisäksi heikkoutena oli kipsistä aiheutuva pöly ja likaisuus.

CAD/CAM-mallinnuksen avulla valmistettujen tukipohjallisten vahvuuksia olivat nopeus ja vaiheen siisteys. Heikkouksia olivat lähinnä avaruudellisen hahmottamisen puuttuminen. Avaruudellisen hahmottamisen puuttuminen lisäsi huomattavasti ajankäyttöä ainakin kokemattomilta tekijöiltä muokkausten tekemiseksi. Ongelmia koettiin kantapään lateraalireunalla sekä pitkittäiskaaren proksimaalipäässä. Mallinnusohjelman tukipohjallisia ei tuntunut istuvan 3D-mallinnukseen täydellisesti ja lopputuotteeseen jäi hieman epämääräisiä muotoja. Valmiita lopputuotoksia kokeiltaessa nämä pienet virheet eivät kuitenkaan tuntuneet mitenkään tai vaikeuttanut tukipohjallisen istuvuutta jalkineeseen. Lopputuloksena koettiin, että kyseinen vaihe oli miellyttävämpi toteuttaa CAD/CAM-mallinnuksella sen siisteyden ja nopeuden takia.



### 6.3 Materiaalien valinta

Perinteisellä tekniikalla valmistettujen tukipohjallisten suurin vahvuus oli materiaalin suhteen, että niitä laaja valikoima ja niiden käyttötarkoitukset olivat selkeät. Heikkouksia ei löydetty. CAD/CAM-mallinnuksen avulla valmistettujen tukipohjallisten heikkouksia olivat materiaalien rajattu valikoima. Vahvuuksia ei löydetty.

### 6.4 Lopullisen tuotteen valmistaminen

Perinteisellä tekniikalla valmistettujen tukipohjallisten suurimmat vahvuudet lopputuotteen valmistuksen vaiheessa olivat sen nopeus ja hahmottaminen. Lisäksi tukipohjallisen työstäminen oli vaivatonta, koska harjoittelukertoja oli jo useita ennestään. Heikkouksina olivat hiomakoneesta johtuva meteli sekä materiaalin hiomisesta aiheutuva pöly.

CAD/CAM-mallinnuksen avulla valmistettujen tukipohjallisten vahvuuksia olivat 3D-tulostimen itsenäinen työskentely (ei tarvitse olla itse paikalla). Heikkoutena erittäin pitkä tulostusaika. Yhteenveto lopullisen tuotteen valmistamisesta oli se, että perinteisellä tekniikalla valmistettujen tukipohjallisten lopullisen tuotteen valmistaminen oli huomattavasti nopeampaa, mutta vaihe sitoi opinnäytetyöntekijän koko prosessin osion ajaksi.

### 6.5 Vahvuuksien ja heikkouksien yhteenveto

Opinnäytetyön tekijöillä oli erittäin yhteneväiset mielipiteet lähes joka tukipohjallisprosessien osa-alueilla, vaikka vahvuuksien ja heikkouksien pohtiminen tapahtui molemmilla tekijöillä itsenäisesti. Joistain osa-alueista ei pystytty sanomaan heikkouksia tai vahvuuksia, kuten materiaalivalinnasta perinteisellä tekniikalla valmistetuista tukipohjallisista.

Ajan ja kustannusten suhteen perinteisellä tekniikalla valmistettujen tukipohjallisten valmistaminen oli kannattavampaa, mutta molemmat opinnäytetyön tekijöistä kokivat, että CAD-CAM-mallinnuksen avulla valmistettujen 3D-tulostettujen tukipohjallisten prosessi oli kokonaisuutena miellyttävämpi toteuttaa. Tätä selittää erityisesti jalkatera-

peutin käyttämä aika (pois lukien lopullisen tuotteen valmistus-osio), mutta myös työn siisteys ja pölyhaittojen poistuminen.

## 7 Pohdinta

Opinnäytetyön tavoite oli vertailla kipsijäljennöksen avulla valmistettuja tukipohjallisia CAD/CAM-mallinnuksen avulla valmistettuihin pohjallisiin ajan, kustannusten, vahvuuksien sekä heikkouksien suhteen. Opinnäytetyössä käytettiin kipsijäljennöksen avulla valmistettujen tukipohjallisten pohjautuvaa teoriaa ja lähestymistapa oli sekä laadullinen, että määrällinen. Koimme, että ainoastaan yhden menetelmän käyttäminen olisi rajannut tutkimuskohdetta liiaksi. Opinnäytetyö toteutettiin ottamalla aikaa tukipohjallisprosessien eri osioista, kustannukset laskettiin yhteistyöyrityksen ja sähköisten tietokannoista saaduilla tiedoilla. Vahvuudet ja heikkoudet kerättiin tukipohjallisprosessin mukaisesti osio kerrallaan ja molemmat opinnäytetyön tekijöistä esittivät omat mielipiteensä niihin.

Ajallisesti suurin huomio opinnäytetyössä keskittyi äärimmäisen pitkään CAD/CAM-mallinnuksen avulla valmistettuun 3D-tulostettuun tukipohjallisen tulostusaikaan (10,5h yksi pari tukipohjallisia). Tässä syytä on kuitenkin ottaa huomioon, että kyseistä 3D-tulostinta ei varsinaisesti ollut tarkoitettu tukipohjallisten tulostamiseen ja kerta oli ensimmäinen myös yhteistyöyritykselle. Tämä varmasti tulee tulevaisuudessa nopeutumaan, kun 3D-tulostimia kehitetään. Huomioitavaa oli lisäksi myös tulostuspaksuus, joka oli 0,02m kerrosta kohden. Tässä voisi varmasti kokeilla myös paksumpaa kerrosta, jolloin tulostaminen nopeutuisi huomattavasti.

Pitkä tulostusaika on tällä hetkellä ylivoimaisesti suurin tekijä, mikä mielestämme rajoittaa kaupallisia mahdollisuuksia tukipohjallisten 3D-tulostamisessa. Koemme, että asiakkaan tulisi saada tukipohjalliset jo ensimmäisen käyntikerran yhteydessä, jolloin käyntikerrat vähenisivät normaalista kolmesta kerrasta kahteen.

Opinnäytetyössä yhteistyöyrityksemme ei ollut jalkaterapia-alan ammattilainen, mikä myös vaikutti lopputulemaan. Tukipohjalliseen oli tulostettu tukirakenteita, jotka jouduttiin hiomaan pois lopullisesta tukipohjallisesta. Hiottaessa tukirakenteita myös itse tukipohjallisesta hioitui pieni kerros pois, jolloin tukipohjallisen eri kerrokset tulivat näkyviin. Tämä saattaa johtaa tukipohjallisen toiminnallisuuden heikkenemiseen pidemmällä

aikavälillä. Ajatuksena oli saada täysin valmis tukipohjallinen yhteistyöyritykseltä. Muuten 3D-tulostettu tukipohjallinen vastasi odotuksia.

Kustannusarviot opinnäytetyössä perustuivat Metropolian toimipisteessä oleviin laitteisiin ja materiaaleihin sekä yhteistyöyrityksen 3D-tulostimeen. Kyseiset laitteet olivat erittäin laadukkaita ja siksi kokonaiskustannukset muodostuivat suhteellisen korkeiksi. Kustannuksia mietittäessä on syytä ottaa huomioon, että laitteiden hintahaarukka on erittäin suuri. Kustannusarviosta jätettiin pois mahdollisten tilojen vuokraus, koska arvio olisi ollut liian paikkakunta-kohtainen. Huomiona mainittakoon, että 3D-mallinnuksella valmistettavan tukipohjallisen laitteet ei tarvitse juurikaan ylimääräistä tilaa, kun taas kipsijäljennöksellä valmistetut tukipohjalliset tarvitsevat erillisen hiomahuoneen ja mahdollisesti vetokaapin.

Opinnäytetyössä haasteita aiheutui siitä, kun suunnitteluohjelmistolla muokatut STL-tiedostot lähetettiin yhteistyöyritykselle. Suunnitteluohjelmisto loi tukipohjalliseen neljä eri kerrosta, joista 3D-tulostinohjelmisto ei kuitenkaan tunnistanut ylä- ja alakerrosta, joten ne poistettiin lopullisista tukipohjallisista. Kerrokset olivat paksuudeltaan ainoastaan 0,001mm. Koulun mallinnusohjelma ei ilmeisesti täysin ollut synkronoitu kyseiseen 3D-tulostinohjelmistoon, joten tämä on hyvä pitää mielessä, jotta tulevaisuudessa mallinnusohjelma ja 3D-tulostinohjelmisto tukevat toisiaan saumattomasti. Mallinnusohjelma antoi kuitenkin poistettujen kerrosten nimet; "top-, bottom-layers" selkeästi, joten yhteistyöyrityksen oli helppo nähdä, että kyseisten kerrosten poistaminen on tarpeen. Tukipohjallisen mallina kyseisessä tulostuksessa oli "solidi" eli rakenteeltaan se oli umpinainen ja pinnat olivat kauttaaltaan ehjiä.



Kuva 6. 3D-tulostetun tukipohjallisen eri kerrokset näkyvillä.

Tukipohjallispareja tulostettiin kaksi kappaletta, joista toinen pari oli 2 mm ja toinen 3 mm paksu. Tukipohjallispareista 3 mm oli liian paksu ja tuntui käytössä epämukavalta. Tukipohjallisen distaalireuna painoi selvästi kokeiltaessa ja koimme erittäin vaikeaksi alkaa ohentamaan koko tukipohjallista.

Prosessien arviointia lähdetessä tekemään, on hyvä ottaa huomioon, että opinnäytetyön tekijöillä ei ollut aikaisempaa kokemusta 3D-tulostamisesta millään tasolla. Jalaterän mallinnukseen käytettävää CAD/CAM-ohjelmaan perehdyttiin koulussa kahden tunnin ajan. Opinnäytetyön tekijät kuitenkin kokivat, että pienelläkin perehdytyksellä 3D-mallinnus on helposti omaksuttava. Kipsijäljennösmenetelmästä tekijöillä oli huomattavan paljon enemmän kokemusta, koska se on koulun pääsääntöinen menetelmä, vaahtolaatikon lisäksi, tukipohjallisten valmistamiseen.

Tutkimuslupaa opinnäytetyötä varten ei tarvittu, koska käyttökokemukset perustuvat ainoastaan opinnäytetyön tekijöihin. Opinnäytetyötä tehdessä meillä ei ollut ennako-

oletuksia kyseisestä aiheesta, joten meitä ohjasi työtä tehdessä löydetty tieto, eivätkä oletukset. Pyrimme alkuperäisartikkeleita käsitellessämme tarkastelemaan niitä monipuolisesti ja olemaan puolueettomia arviointeja tehdessä. Pyrimme kirjoittamaan prosessin eri vaiheet selkeästi auki, jolloin lukijalla olisi paras mahdollisuus arvioida sen etenemistä. Opinnäytetyön raportoinnissa pyrimme olemaan rehellisiä, ettemme vääristäisi tuloksia.

Tällä hetkellä ajattelemme, että 3D-tulostettujen tukipohjallisten valmistaminen Suomessa jalkaterapeutin näkökulmasta ei ole vielä ajankohtaista. Varmaa on kuitenkin, että 3D-tulostaminen tulee yleistymään jalkaterapiassa. Sen potentiaalista on käytetty ainoastaan pieni osa, kun taas mielestämme kipsijäljennöksen avulla valmistetut tukipohjalliset ovat saavuttaneet kulmionaatiopisteensä. 3D-tulostaminen mahdollistaa erilaisten muokkausten tekemisen tukipohjallisiin, kuten ontelomaisen rakenteen tai erilaisten muotojen tekemisen tukipohjallisen sisään. Lisäksi tulostamiseen käytetty aika tulee vähenemään tulevaisuudessa.

Jatkokehitysehdotuksena opinnäytetyöllemme olisi vertailla asiakkaiden käyttökokemukset molemmilla tekniikoilla valmistetuista tukipohjallisista. Tukipohjallisissa olisi mielestämme tarpeellista käyttää samaa materiaalia. Näin pystyisimme käytännössä vertailemaan eri tekniikoiden lopputuotosten toiminnallisuutta. Lisäksi mielenkiintoista olisi vertailla asiakkaiden käyttökokemukset eri materiaaleista valmistettujen 3D-tulostettujen tukipohjallisten suhteen ja selvittää, että muuttuuko prosessi materiaalista johtuen.

## Lähteet

Bogue, R 2013. 3D printing: the dawn of a new era in manufacturing? Verkkodokumentti. <<http://www.emeraldinsight.com/doi/full/10.1108/AA-06-2013-055>> Luettu 1.11.2017.

Cornwall, M - McPoil, T 2017. Can runners perceive changes in heel cushioning as the shoe ages with increased mileage? International journal of sports physical therapy. Verkkodokumentti. <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5534152/>> Luettu 24.10.2017.

Elias, H-G 2003. An Introduction to Plastics. 2. painos. Hoppenheim, Saksa: WILEY VCH. 281-284.

Eskola, J - Suoranta, J 1998. Johdatus laadulliseen tutkimukseen. 2. painos. Jyväskylä, Suomi. Gummerus Kirjapaino Oy. 69.

Gibson, K.S - Woodburn, J - Porter, D - Telfer, S. 2014. Functionally Optimized Orthoses for Early Rheumatoid Arthritis Foot Disease: A Study of Mechanisms and Patient Experience. Arthritis Care & Research. Verkkodokumentti. <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23836484>> Luettu 14.9.2017.

Goldberg, B - Hsu, J.D 1997. Atlas of orthoses and assistive devices. 3rd ed. St. Louis: Patterson. 463.

Hausman, K - Horne, R 2014. 3D Printing for dummies. Hoboken, New Jersey, USA. John Wiley & Sons, Inc. 66, 185-187.

Liukkonen, I - Saarikoski, R, 2011. Jalat ja terveyst. Vantaa, Suomi. 201-222, 225, 235, 419-423, 470.

Lusardi, M - Nielsen, C 2000. Orthotics and Prosthetics in Rehabilitation. Woburn, Massachusetts, USA. Butterworth-Heinemann. 12.

miniFactory 2017. 3D-tulostin. Verkkodokumentti. <<http://www.minifactory.fi/3d-tulostin/>> Luettu 5.11.2017.

Nicolopoulos, C. F - Black, J. - Anderson, E.G. 2000. The Foot. Volume 10. Nikosia, Kypros. Harcourt Publishers Ltd. 2.

Philps, J. W 1998. The Functional Foot Orthosis. 2nd ed. Churchill, Livingstone: Longman Singapore Publishers Pte Ltd. 3-6, 3-14, 26, 27, 58, 63-68.

Stolt, M - Flink, A - Saarikoski R, - Väyrynen P 2017. Jalkaterveys. 1. painos. Tallinna, Viro. Duodecim. 270.

Telfer, S - Woodburn, J 2010. The use of 3D surface scanning for the measurement and assessment of the human foot. National Center for Biotechnology Information. Verkkodokumentti. <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2944246/>> Luettu 24.10.2017.

Valmassy, R. L 1996. Clinical biomechanics of the lower extremities. St. Louis, Missouri: Don Ladig. 280, 282-283, 296-306, 311-323.

Weber, D 1993. Clinical aspects of the lower extremity. Oakville, Ontario: Elgan Enterprises. 12-13.

