

Mauri Munne, Tuomas Mustonen ja Jaakko Vähäylikkä

Kuvaus 3D-tulostamisesta hammastekniikassa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Hammasteknikko

Hammastekniikan ko

Opinnäytetyö

23.10.2013

Tekijä(t) Otsikko	Mauri Munne, Tuomas Mustonen ja Jaakko Vähäajylkkä Kuvaus 3D-tulostamisesta hammastekniikassa
Sivumäärä Aika	22 sivua 23.10.2013
Tutkinto	Hammasteknikko AMK
Koulutusohjelma	Hammastekniikan koulutusohjelma
Suuntautumisvaihtoehto	Hammasteknikko
Ohjaaja(t)	Lehtori Jarno Niskanen Yliopettaja Pekka Paalasmaa
<p>3D-tulostaminen kehittyi nopeasti ja yleistyy koko ajan. Tulostimien tarkkuuksien kehittyessä 3D-tulostus on ottamassa myös jalansijaa hammastekniikan alalta.</p> <p>Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on kuvata 3D-tulostamisen tilaa hammastekniikassa. 3D-tulostaminen on Suomessa vielä melko harvinaista, joten opinnäytetyön tavoitteena on koota yhteen kaikki mahdollinen tieto liittyen 3D-tulostamiseen hammastekniikassa. Tavoitteena on myös 3D-tulostimen testaaminen käytännössä aina suun skannaamisesta mallien tulostamiseen.</p> <p>3D-tulostamisesta yleisesti on tietoa melko paljon, mutta hammastekniikan osalta tietoa kerättiin haastatteleamalla hammastekniikan alalla työskenteleviä ja 3D-tulostimia markkinoivaa henkilöä. Opinnäytetyön teoria osuuteen tietoa haettiin pääasiassa internetlähteistä sekä kirjallisuudesta.</p> <p>Tällä hetkellä 3D-tulostamalla Suomessa ei vielä tehdä mitään pysyviä proteettisia ratkaisuja potilaiden käyttöön. 3D-tulostimella voidaan valmistaa erilaisia sovituskappaleita ja työmalleja, joita käytetään apuna pysyviä ratkaisuja valmistamassa. Työelämässä 3D-tulostin toimii hienosti ruuhkahuippujen purkamisessa, kun perinteisten menetelmien vaatimat vahaukset voidaan valmistaa tulostamalla.</p> <p>Kudosystävällisten tulostusmateriaalien lisääntyessä ja tulostimien kehittyessä 3D-tulostus tulee tiiviiksi osaksi hammasteknistä alaa.</p>	
Avainsanat	3D-tulostaminen, hammastekniikka

Author(s) Title	Mauri Munne, Tuomas Mustonen ja Jaakko Vähäyylkkä Description of 3D Printing in Dental Technology
Number of Pages Date	22 pages Autumn 2013
Degree	Bachelor of Health Care
Degree Programme	Dental Technology
Specialisation option	Dental Technology
Instructor(s)	Jarno Niskanen, Senior Lecturer Pekka Paalasmaa, Principal Lecturer
<p>3D printing is developing at a rapid pace and becoming continuously more common. As the printers' accuracy develops, 3D printing is gaining a foothold also in the field of dental technology.</p> <p>The purpose of this thesis is to describe the 3D printing status in dental technology. 3D printing is still quite rare in Finland, so the aim of the thesis is to gather all possible information related to 3D printing in dental technology. The objective was to test 3D printer in practice throughout the whole process, from scanning of the mouth to the printing of the models.</p> <p>There is quite a lot of information available of 3D printing in general but to find information concerning dental technology we had to gather the information by interviewing people working in the field of dental technology and one 3D printer sales representative. The theoretical part of information was sought mainly from Internet sources, as well as literature.</p> <p>Currently in Finland 3D printing is not used to do any permanent prosthetic solutions to patients. 3D printer can produce a variety of adapters and various work models which are used to help in the manufacture of permanent solutions. In working life 3D printer is a great help during peak periods as the waxing of the traditional method can be produced by printing.</p> <p>As the tissue-friendly printing materials increase and 3D printers develop, 3D printing becomes a compact part of the dental technical field.</p>	
Keywords	3D printing, dental technology

Sisällys

1	Johdanto	1
2	3D-tulostus	2
2.1	3D-tulostuksen historiaa	4
2.2	3D-tulostuksen tulevaisuus	5
2.3	Tulostimet	5
2.3.1	Pikavalmistusmenetelmät	7
2.3.2	Pikavalmistuslaitteet	8
3	3D-tulostus hammastekniikassa	9
3.1	Nykytila Suomessa	10
3.2	Tulevaisuus Suomessa	11
4	Koekappaleiden tulostus	13
4.1	Hampaiston kuvaus	13
4.2	3D-mallin suunnittelu	15
4.3	Mallien tulostus	17
5	3D-tulostuksen hyödyt hammastekniikassa	18
6	Pohdinta	19
	Lähteet	21

1 Johdanto

Opinnäytetyö käsittelee 3D-tulostuksen käyttöä hammastekniikassa Suomessa ja osittain muuallakin. Tavoitteenamme on saada selville, käytetäänkö tulostamista jo tuottamaan hammasteknisiä töitä suuhun, tekemään hankalia välivaiheita vai onko se vasta apuväline töiden tekemisille. Työn alussa saimme ristiriitaista tietoa hammasteknikoilta siitä, että mihin kaikkeen 3D-tulostusta voidaan käyttää hammastekniikassa.

Ajatuksena meillä oli myös päästä testaamaan 3D-tulostusta käytännössä. Toiveena oli päästä tulostamaan jokin kappale hammastekniikkaan liittyen, jotta näkisimme millaista jälkeä 3D-tulostin tekee. Halusimme myös nähdä koko prosessin minkä 3D-tulostus vaatii; kappaleen skannauksen, mallien suunnittelemisen tietokoneella ja niiden tulostuksen.

Opinnäytetyö käsittelee myös sitä, onko 3D-tulostus taloudellisesti ja laadullisesti kannattavaa esimerkiksi mallien tuottamiseen. Ja jos nyt näin ei ole, milloin mahdollisesti 3D-tulostus yleistyisi kentällä? Selvitimme mitä hammasteknisiä töitä pystytään tekemään tulostamalla tällä hetkellä. Haluamme, että jokaisen alalla olevan olisi helpompi tutustua aiheeseen, joka muualla teollisuudessa on jo selkeä tulevaisuuden teknologia.

Opinnäytetyö ei käsittele tulostettavien kappaleiden kestävyysliittyviä asioita. Niiden tarkasteluun ei tässä ole mahdollisuutta, eivätkä ne palvelisi opinnäytetyön tarkoitusta. Vaikka opinnäytetyömme pääpaino ei ole printatun materiaalin tutkimisessa, pyrimme hieman selvittämään eri tulostimien tarkkuuksia.

Yksityiset henkilöt ovat voineet tutkia asiaa, mutta aikaisempia julkaistuja tutkimuksia aiheesta hammastekniikan kannalta ei ole. On olemassa tutkimuksia, jotka käsittelevät 3D-tulostamista yleisesti. Esimerkkejä tällaisista ovat Seinäjoen ammattikorkeakoulussa tehty 3D-tulostuksen tuoteprojekti sekä Oulun Seudun Ammattikorkeakoulussa tehty selvitys 3D-tulostamisen tilanteesta Suomessa. (Lohilahti 2011; Pihlajamäki 2011.)

2 3D-tulostus

3D-tulostaminen on oikeastaan yksi pikavalmistustekniikan alalaji. Termi 3D-tulostus otettiin käyttöön 90-luvun lopulla, kun keksittiin pikavalmistusmenetelmä, jossa prosessi ei vaatinut enää jatkuvaa valvontaa tai käytön erityisosaamista. 3D-tulostamisessa on kyse kolmiulotteisten kappaleiden valmistamisesta 3D-mallin pohjalta. Malli luodaan joko skannaamalla olemassa olevasta kappaleesta tai piirtämällä 3D-malli tietokoneessa olevalla mallinnusohjelmalla. Virtuaalinen 3D-malli siirretään toiseen tietokoneen ohjelmaan, joka muuntaa mallin datan tulostimen ymmärtämään muotoon. (Mitä on 3D-tulostus 2012.)

Tietokoneella suunniteltu tai skannattu 3D-malli ja tehty rakennepiirros puretaan ohuiksi siivuiksi. Siivut tulostetaan erikseen, jolloin käytetty raaka-aine nousee kerros kerrallaan. Muovista tai metallista koostuva raaka-aine on yleensä jauhemaisessa muodossa, ja se sijaitsee lähellä olevassa astiassa. Aine saadaan haluttuun muotoon kovettamalla tai hitsaamalla laserin tai sähkövirran avulla. Näin ohuen ohuet kerrokset yhdistyvät ja ne peitetään jauheella tai muulla aineella. Lopuksi tuotteeseen voidaan lisätä muita irrallisia osia tai yhdistetään eri tulostuksia toisiinsa, jolloin saadaan valmis tehdastuote. (Paukku 2013: 18-19.)

3D-tulostimia on erilaisilla menetelmillä toimivia. On olemassa nestettä kovettavia tulostimia, jotka toimivat yleensä laserilla tai UV-valolla. On sulaa materiaalia lisääviä tulostimia sekä myös pulverista sintraavia, esimerkiksi muovi-, metalli-, ja kipsijauheesta. Kaikki eri tulostustekniikkaa käyttävät tulostimet toimivat kuitenkin samalla periaatteella. Eli 2D-poikkileikkaukset muodostavat tavallaan tulostusjonon ja tulostin tulostaa jonon ensimmäisen poikkileikkauksen tulostettavalle alustalle. Sen jälkeen alustaa lasketaan yhden poikkileikkauksen verran alemmas ja tulostetaan tulostusjonon seuraava poikkileikkaus. Tämä jatkuu niin kauan, kunnes viimeinenkin poikkileikkaus on tulostunut alustalle ja tulostettava esine on valmis. Tulostettavien tuotteiden koko riippuu siitä, mitä menetelmiä ja materiaaleja käytetään. Esimerkiksi jauhekerrostustekniikalla tehdyn kappaleen maksimikoko on 0,9 x 1,5 x 0,9 metriä. (Mitä on 3D-tulostus 2013; VTT visioi: 3D-tulostuksesta Suomelle uusi Nokia 2013.)

Kolmiulotteisella tulostimella voidaan tulostaa jo useita esineitä ja asioita, kuten leluja, talon osia tai vaikka verisuonia. Se voi tulevaisuudessa mullistaa tavaroiden tuotannon, koska lähes kaikkea voidaan tulostaa ja tulostaminen yleistyy kaiken aikaa. On arvioitu,

että se voi johtaa uuteen teolliseen vallankumoukseen, joka muuttaisi teollisen tuotannon rakenteen ja jopa vaurauden sekä omistussuhteet. Vähintään 3D-tulostuksen enustetaan laittavan uusiksi nykyiset liiketoimintamallit, koska se tulee muuttamaan teollisten tuotteiden suunnittelun ja tuotannon. Nyt jo myydään kotikäyttöön sarjavalmistettavia tulostimia, joilla voi tulostaa yksinkertaisia pienesineitä. Tulostaminen ei periaatteessa vaadi muuta kuin tulostimen, tietokoneen, josta mallit saadaan ja astian raaka-ainetta. Raaka-aineen voi olla lähes mitä tahansa ainetta, mutta sen on oltava hyvin tasalaatuista ja seoksen tai pulverin muodossa. (Paukku 2013: 17-20; VTT visioi: 3D-tulostuksesta Suomelle uusi Nokia 2013.)

3D-tulostamisen etu on siinä, että nykyään yksi ihminen voi tuottaa sen, mihin kymmenen vuotta sitten tarvittiin iso yhtiö. Sen lisäksi kuluttaja saa itselleen ainutlaatuisen tuotteen, juuri sellaisen kuin hän tarvitsee, aiemman massatuotannon sijaan. Tästä huolimatta hinta pysyy kohtuullisen halpana, koska suunnittelu on helppoa ja kuljetuskustannuksia ei tule. 3D-tuotteen voi siirtää digitaalisesti ja tulostaa siellä, missä sitä tarvitaan. Normaalisti valmistetun tuotteen kuluista yksi seitsemäsosa on yleensä kuljetuskustannuksia. Jotkut uskovat kuitenkin, että 3D-tulostus tuo vain lisää luovuutta ja tehtaat säilyvät. Vaikka melkein mitä tahansa voi jo tulostaa, suurin osa esineistä ei tule tulostamalla niin hyväksi kuin perinteisillä menetelmillä. (Paukku 2013:20-21; Prinnettua elämää 2013: 15.)

3D-tulostamisella on tulevaisuudessa lähes rajattomat käyttökohteet. Nykyään sitä käytetään mm. tuotekehityksessä, lääketeollisuudessa, pienoismalliteollisuudessa, taiteessa ja niin edelleen.

Tuotekehityksen osalta 3D-tulostusta käytetään kappaleiden ulkomuotojen suunnittelussa. Tulostettujen mallien avulla voidaan suorittaa muotoilu- ja ergonomiatutkimuksia. Tulostetuilla malleilla voidaan tutkia kappaleiden tai osien sopivuutta toisiinsa tai sopivuutta jo olemassa oleviin osiin. Enimmäkseen tulostetuilla kappaleilla tutkitaan mekaanista toimivuutta, mutta joissakin tilanteissa jopa varsinaisen toiminnan testausta.

Markkinointialalla tulostetuilla kappaleilla voidaan toteuttaa tutkimuksia valmiin tuotteen näköisillä ja toimivilla kappaleilla. Voidaan esitellä asiakkaille useita eri variaatioita mahdollisista tulevista tuotteista. Tulostamalla voidaan tuottaa mallikappaleita messuille sekä esitekuvauksiin. (Mitä on 3D-tulostus 2013.)

Lääketeollisuudessa on jo saatu lupaavia tuloksia, esimerkiksi tulostetusta luun korvikkeesta, jossa oma luu vähitellen korvaa tulostetun aineen. Myös lääkkeitä on kehitetty tulostuksen avulla. Viruksesta tehdään 3D-malli, jolloin sen pintaan sopiva proteiini voidaan etsiä. Tulevaisuudessa voi olla mahdollista tulostaa rokotteita, jolloin hankalat kuljetukset jäisivät kokonaan pois. Lääketieteen arvioidaan olevan ensimmäisten menetelmien joukossa, jotka lyövät läpi 3D-tulostamisessa. (Paukku 2013:20-21; Printattua elämää 2013: 15.)

Suomessa Aalto-yliopisto on jo tulostanut verisuonimalleja. Sen tutkimusryhmä on mukana projektissa, jonka tarkoituksena on valmistaa keinoihoja. Tavoite on vaativa, sillä verisuonet ja iho ovat monimutkaisia ja niiden on oltava bioyhteensopivia ja bioaktiivisia. Elimistö ei saa hylkiä tulostettua materiaalia ja sen pinnalla on pystyttävä kasvamaan eläviä soluja. (Printattua elämää 2013: 15.)

2.1 3D-tulostuksen historiaa

Tiettävästi ensimmäisen 3D-tulostimen rakensi yhdysvaltalainen insinööri Charles Hull vuonna 1984. Hän oli kovettanut muoveja UV-lampulla ja keksi, että tietokone ohjauksen avulla saattoi kovettaa kerroksen muovia kerrallaan. Millimetrin vahvuiset kerrokset hän kovetti laserin avulla ja lopulta hän sai valmiiksi esimerkiksi muovisen kupin, minkä jälkeen ylimääräinen tulostusmateriaali pyyhittiin pois. Hull haki keksinnölleen patentin, nimesi sen stereolitografiaksi ja perusti yrityksen nimeltä 3D-systems. Nykyäänkin sama systeemi on suosituin tulostustekniikka, koska se on hyvin täsmällistä. Tekniikka on kuitenkin hidas, sillä saa vain yksivärisiä tuotteita tietynlaisesta muovista ja tuote on laitettava tulostuksen jälkeen ultraviolettivaloon ainakin tunniksi. (Paukku 2013: 24-25, 3D-tulostus, historia, 2013.)

3D-tulostamista, tai pikavalmistusta, kuten se silloin nimettiin, on käytetty prototyyppien tekemiseen 1980-luvulta lähtien. Muotoilija suunnitteli esineen, joka siirrettiin tietokoneelle ja tulostettiin malli. Materiaalit vain olivat niin huonoja, metalli taipuisaa ja muovi vahamaista, ettei tuotteita voinut myydä asiakkaille. Pystyttiin vain kokeilemaan, miltä tuote näyttäisi ja testaamaan sitä. 1980-luvulla kehittyi myös muita tekniikoita, kuten menetelmät, jossa tuote rakentuu kuumasta lämpömuovista, valmistus perustuu valikoivaan laseriin tai tulostus tapahtuu suoraan värillisenä. Tuolloin tulostimet olivat kuitenkin massiivisia, kalliita ja hyvin rajoittuneita. Nykyisten tulostustekniikoiden kehittäjinä pidetään tohtoreita Carl Deckard ja Joseph Beaman, jotka kehittivät ja patentoivat

Selective Laser Sintering -konseptin, joka oli toiminnaltaan lähellä nykyisiä 3D-tulostimia. 3D-tulostus -termi syntyi opiskelijoiden, Jim Bredt ja Tim Anderson, keksimänä heidän kehitettyä normaalista mustesuihkutulostimesta prototyypin, joka pystyi tulostamaan kerroksittain 3D-objekteja. (Muuttaako 3D-tulostus maailman 2013; 3D-tulostus, historia 2013; Paukku 2013: 24-25.)

2.2 3D-tulostuksen tulevaisuus

Kotikäyttöön tarkoitettujen 3D-tulostimien tuottamat esineet ovat kehittyneet viime vuosina paljon, mutta niiden laatu ei vielä vastaa teollisesti tuotettua. Lopputulos ei ole yhtä tiivistä ja lujaa kuin teollisuustulostimien ruiskupuristettu muovi, koska suurin osa tulostimista tulostaa muovia kerroksittain. Liikkuvista osista koostuva esine saadaan aikaan tulostamalla osien väliin väliainetta, joka pestään lopuksi pois. (Muuttaako 3D-tulostus maailman 2013.)

Tällä hetkellä tulostimet maksavat vielä paljon suhteessa tulostuksen laatuun ja nopeuteen. Niiden kehityskustannukset ovat isot ja myynti vielä suhteellisen pientä. 3D-alan suuruus on tällä hetkellä vain noin 1,5 miljardia euroa. Iso kehitysaskel tapahtuu kun laadukkaat laitteet halpenevat, kuten matkapuhelinten kanssa kävi. Hinnat voivat romahtaa nopeastikin, jos kysyntä kasvaa ja silloin kotitulostimien osuus myynnistä kasvaa ohi kalliiden laitteiden ja niiden sovellusten. (Printattua elämää 2013: 15.)

Valtion Teknillinen Tutkimuskeskus ja Aalto-yliopisto uskovat 3D-tulostuksen tuomiin bisnesmahdollisuuksiin myös Suomessa. Suomella on siihen hyvät valmiudet, koska täällä teollisuus perustuu erikoistuotteiden valmistukseen, joita tehdään pieniä eriä. 3D-tulostuksessa korostuvat eri alojen yhdistäminen ja korkea jalostusarvo, joissa Suomi on ollut hyvin esillä. Suurimmat mahdollisuudet tulostuksen hyödyntämisessä nähdään konepaja- ja energiateollisuudessa, muun muassa varaosabisneksessä. (VTT visioi: 3D-tulostuksesta Suomelle uusi Nokia 2013.)

2.3 Tulostimet

Kuten normaaleissa tulostimissa, on 3D-tulostimillakin jo monia eri valmistajia, eri merkkejä ja malleja. 3D-tulostimien hinnat vaihtelevat hyvin suurella skaalalla, kuten myös tulostimien teho, sekä tarkkuus.

Monet valmistajat ovat alkaneet tehdä 3D-tulostimia. Jotkut valmistajat ovat olleet alalla jo kauan, kun taas toiset ovat 3D-tulostuksen yleistyessä siirtyneet alalle. Kuten muillakin aloilla, myös 3D-tulostuksessa jokainen valmistaja suosittelee tuotettaan parhaimpana markkinoilla. Israelilainen Objet on yksi alalla kauiten ollut valmistaja, jolla on laaja tarjonta erilaisia tulostimia eri tarpeisiin. Yksi valmistaja on 3DSystems. Alalle on syntynyt myös suomalaisia yrityksiä, yksi niistä on miniFactory, joka myy tulostimia, materiaaleja sekä malleja tulostimille. Valmistajia alalla on nyt jo todella suuri määrä. (Minifactory 2013, Oma tehdas työpöydällä - 3D-tulostimet 2012, 3D-Printers 2013, Tulostimet 2013.)

3D-tulostimien teho ja tarkkuus on suoraan verrannollinen 3D-tulostimen hintaan. Halvimpien 3D-tulostimien tarkkuus on selvästi pienempi kuin kalliimpien, sekä ne tulostavat kappaleita huomattavasti hitaammin, ja tekevät niistä huonosti viimeisteltyjen näköisiä.

3D-tulostimien hinnat vaihtelevat siis todella suurella skaalalla. Tähän yksi syy varmasti on, että 3D-tulostimia on nykyään markkinoilla yksityiskäyttöön, tehdaskäyttöön sekä erilaisten firmojen tarpeille sopivia 3D-tulostimia. Kaikki valmistajat eivät ilmoita 3D-tulostimiensa hintoja suoraan nettisivuillansa, varsinkaan kalliiden 3D-tulostimien. Kuitenkin monet valmistajat myyvät nettisivuillansa suoraan 3D-tulostimia, ja kertovat myös niiden hintoja. Halvimmat 3D-tulostimet maksavat tällä hetkellä vain noin 200 €. Todella monien 3D-tulostimien hinnat liikkuvat 1000 € - 2000 € hintahaitarissa, ja tämän hintaiset tulostimet alkavat olla jo laadullisesti hyvää luokkaa. Suurimman hinnan saa maksaa juurikin Objetin tulostimesta. Objetin huippumalli, Objet500, maksaa yli 200 000 €. (Price compare - 3D-Printers 2013, Oma tehdas työpöydällä - 3D-tulostimet 2013.)

3D-tulostimien valmistajat kertovat usein merkkikohtaisesti, kuinka suuri kyseisen tulostimen tulostusalue on. Nämä tulostusalueet vaihtelevat jonkun verran, mutta ei kovin paljoa. Pienempien 3D-tulostimien tulostusalueet ovat noin 150 x 150 x 150 mm. Suurimmat tulostusalueet ovat noin 500 x 500 x 500 mm luokkaa. Objetin suurimman 3D-tulostimen tulostusalue on 1000 x 800 x 600mm. (3D-Printers 2013, Price compare - 3D-Printers 2013.)

3D-tulostimien nopeus vaihtelee myös jonkin verran. Jotkut valmistajat ilmoittavat kuinka paljon tulostin tekee korkeutta sekunnissa tai tunnissa, kun taas toiset ilmoittavat kuinka paljon materiaalia tulostetaan tietyssä ajassa. Esimerkiksi 3DSystemsin tarjoamien 3D-tulostimien nopeus vaihtelee 1 cm/h korkeutta, aina 50 cm/h korkeutta.

Tulostus tarkkuus on yksi olennaisimmista asioista 3D-tulostimissa tällä hetkellä, mitä tulee tekniikkaan ja sen kehitykseen käyttäen apuna 3D-tulostinta. Kun tulostetaan kotiloissa jotain esinettä arkikäyttöön, tai koristeeksi, ei tulostustarkkuudella ole niin väliä. Kuitenkin 3D-tulostusta käytetään paljon esimerkiksi lääketieteessä, jolloin tarkkuus on erittäin olennaista. Valmistajat ilmoittavat usein kuinka ohuita kerroksia tulostin voi tehdä, sekä kuinka tarkkaa jälkeä se tekee. Monissa 3D-tulostimissa kerrospaksuus on 30-40 mikronin luokkaa (0.030 mm). Objektin tulostimet kertovat pystyvän jopa 16 mikronin kerrospaksuuteen. (Tulostimet 2013, 3D- Printers 2013.)

2.3.1 Pikavalmistusmenetelmät

Pikavalmistusmenetelmiä on karkeasti neljää erilaista tyyppiä: sulasta aineesta lisäävät, nestettä kovettavat, kipsi-, muovi- tai metallijauheesta sintraavat ja levystä leikkaavat.

Sulasta aineesta lisäävässä menetelmässä laitteen tulostuspää sulattaa termoplastisen raaka-aineen ja pursottaa sen ohuena nauhana kerros kerrokselta oikeaan kohtaan. Pursotettu materiaali jäähtyy nopeasti ja sitoutuu edelliseen kerrokseen kiinni. Tällä menetelmällä tulostettaessa, jotkut muodoltaan haastavat kappaleet tarvitsevat tukirakenteet, jotka kappaleen valmistuttua poistetaan. Tukirakenteisiin on olemassa materiaali, joka voidaan poistaa pesemällä.

Nestettä kovettavassa menetelmässä materiaalina käytetään fotopolymeerihartsia, joka kovetetaan kerroksittain laserilla. Fotopolymeeri koostuu sidosaineesta, monomeerista sekä fotoinitiaattorista. Kun laserin säde osuu fotopolymeeriin kovettumisprosessi alkaa. Tukimateriaalia käytetään kappaleissa, joissa on isoja ulkonemia. Kun kappale on tulostettu, se käsitellään UV-valolla. Valmiiseen kappaleeseen jää tahmea pinta, joka vaatii jälkikäsitelyä esimerkiksi hiomista.

Jauheesta sintraavassa menetelmässä materiaalina käytetään kipsi-, muovi- tai metallijauhetta, joka sintrataan laserin avulla. Jauhe levitetään tulostusalustalle ohueksi ker-

rokseksi, joka kuumennetaan laserilla niin, että se sulautuu kiinni edelliseen kerrokseen.

Levystä leikkaavassa menetelmässä kappale valmistetaan liimaamalla ohuita kalvoja päällekkäin ja leikkaamalla laserilla ääri viivoja pitkin ennen seuraavan kalvon liimaamista. Materiaaleina voidaan käyttää esimerkiksi PVC-muovia ja komposiittia. Kerrokset liimataan kuumaliimalla, joka on valmiiksi jo kalvon pinnalla. Valmis kappale on ylimääräisen materiaalin peitossa ja se viimeistellään hionnalla. Menetelmä ei sovellu tarkkuutta vaativiin kappaleisiin. (Pikamallit 2013.)

2.3.2 Pikavalmistuslaitteet

Pikavalmistuslaitteet voidaan jakaa kolmen tyyppiin laitteisiin: 3D-toimistotulostimet, tekniset pikavalmistuslaitteet ja rapid tooling -laitteet.

3D-toimistotulostimet ovat suunniteltu toimistoympäristöön ja ovat helppokäyttöisiä tulostimia. Materiaaleina niissä käytetään yleensä eri muoveja ja tulostettujen kappaleiden koot ovat enintään 300 x 300 x 300 mm. Ne ovat suunniteltu siten, että tulostusprosessista syntyvä pöly ja mahdolliset myrkyt eivät pääse leviämään huoneilmaan. Tulostimien mittatarkkuus ja tulostettujen kappaleiden lujuus eivät ole vielä kovin hyvällä tasolla.

Tekniset pikavalmistuslaitteet on suunniteltu teollisuuden tarpeisiin. Näitä laitteita on olemassa useita erilaisia ja eri käyttötarkoituksiin olevia. Voidaan tehdä todella pieniä ja tarkkoja kappaleita ja suurimmissa tulostimissa ulottuvuudet voivat olla useita metrejä.

Rapid tooling- laitteet ovat usein samankaltaisia kuin tekniset pikavalmistuslaitteet. Niillä valmistetaan pikatyökaluja, joilla taas valmistetaan prototyyppijä. (Pikamallit 2013.)

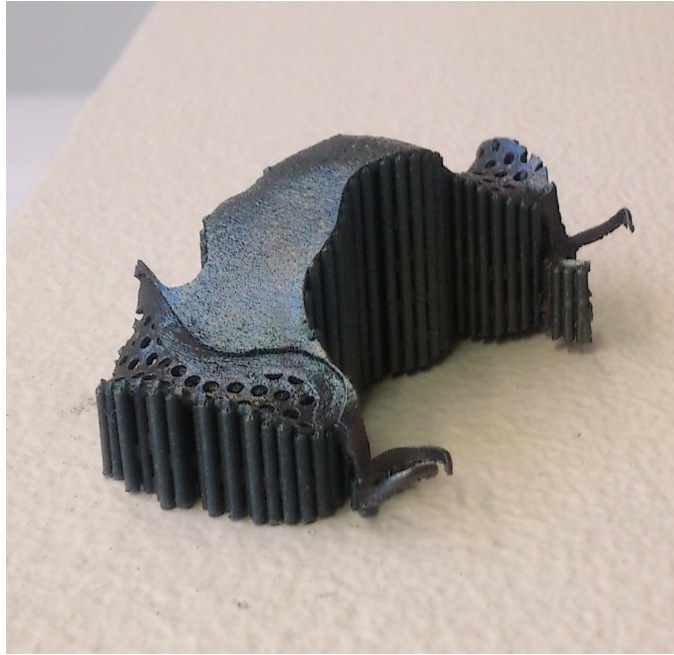
3 3D-tulostus hammastekniikassa

Tässä luvussa tarkastelemme kuinka 3D-tulostusta voidaan tällä hetkellä käyttää hammastekniikassa. Tarkastelemme asiaa lähinnä Suomen mittakaavassa. Kuitenkin monet asiat ovat samalla tavalla ulkomailla kuin Suomessakin. Esimerkiksi Yhdysvalloissa ja hammastekniikan jättimaassa Saksassa, 3D-tulostusta käytetään jo enemmän kuin Suomessa. Silti ulkomaillakin 3D-tulostusta käytetään samoissa työvaiheissa kuin Suomessa. Saksalainen Andreas Laufer näkee 3D-tulostuksen lisäävän kustannustehokkuutta hammastekniikassa. (Replacement Technology for Replacement Technology 2013: 62-63.)

Mitä tulostimiin tulee, ovat ne jo siinä pisteessä, että tarkkuus riittää hammastekniikkaan mainiosti. Kerrospaksuuksissa päästään jopa 16 mikroniin, mutta esimerkiksi Turun Jyrsintakeskuksessa käytetään 26 mikronin kerrospaksuutta, mikä on erittäin riittävä. Tulostimien tarkkuus eli resoluutio on tällä hetkellä vakio. Sekin on tarpeeksi hyvä hammastekniikalle, 600 dpi. (Rakkolainen 2013.)

Tulostamiseen tarvitsee ohjelmiston ja tulostimen. 3D-skannerien tuottama data soveltuu hyvin 3D-tulostukseen. Niiden data voidaan muuttaa STL -formaattiin, minkä 3D-tulostin vaatii. (OBJET ja Connex 3D tulostimet hammasteknisessä käytössä 2012.)

Tulostetut kappaleet tarvitsevat hieman vaihtelevasti loppukäsittelyä tulostuksen jälkeen. Esimerkiksi mallit eivät juurikaan tarvitse loppukäsittelyä. Loppukäsittelynä malleille käytetään erittäin voimakasta painepesua. Kun malleista on lähtenyt ylimääräinen sidosaine pois, ovat ne valmiina käytettäväksi. Metallia tulostettaessa, tarvitsee tulostimen tehdä työhön jatkuvasti tukimateriaalia (ks. kuvio 1). Tämä tukimateriaali on taas jokseenkin työlästä poistaa lopputuotteesta. (Rakkolainen 2013)



KUVIO 1. Tukimateriaali 3D-tulostetussa rangassa (Munne 2013)

3.1 Nykytila Suomessa

3D-tulostaminen on vielä melko harvinaista Suomessa. Hammasteknisten töiden osalta tyydytään hyvin pitkälle perinteisiin ja totuttuihin menetelmiin. Joidenkin asennekin on hieman negatiivinen 3D-tulostusta kohtaan, joten voi kestää vielä hetken ennen kuin kiinnostus alkaa nousta kyseistä pikavalmistus menetelmää kohtaan. Tällä hetkellä Suomessa on vain kahdessa laboratorioissa 3D-tulostin.

Pelkkä 3D-tulostin ei riitä, vaan tällainen laite vaatii aina käyttöjärjestelmän koneelle, jolla voidaan vastaanottaa tiedostoja, muuttaa tiedostot tulostimelle ymmärrettävään muotoon ja mallintaa 3D-malleja. Tulostamalla ei vielä valmisteta pysyviä proteettisia ratkaisuja suuhun, vaan tulostimia käytetään lähinnä apukojien ja kappaleiden valmistamiseen. Jotkut laboratoriot tilaavat ulkomailta tulostettuja malleja. Tällä hetkellä tulostetut muovimallit maksavat huomattavasti perinteisiä kipsimalleja enemmän.

Implanttileikkauksen avuksi voidaan tulostaa splinttejä eli ohjauskiskoja, jotka auttavat hammaslääkärinä poraamaan implanttiruuvit haluttuun kohtaan. Myös purentakiskoja valmistetaan tulostamalla. Erilaisia muovisia sovituskappaleita voidaan tulostaa, joita halutaan sovittaa potilaalle ennen lopullisen kappaleen valmistamista. Sovituksen jälkeen muovi voidaan upottaa massaan ja valaa tai prässätä.

3D-tulostaminen on tuonut myös ihan uuden mahdollisuuden ja helpotuksen leikkauksien suunnitteluun. Potilaasta otetaan 3D-röntgenkuva esim. kallosta. Kuva voidaan muuttaa tulostimelle ymmärrettävään muotoon tietokoneessa olevalla käyttöjärjestelmällä. Voidaan tulostaa mittakaavassa 1:1 oleva kallo (ks. kuvio 2). Tulostin voi tulostaa myös onttoja luita, joiden sisälläkin on kaikki, kuten oikeassa luussa. Kirurgit pystyvät tämän johdosta suunnittelemaan hyvin tarkasti tulevan leikkauksen. Esimerkiksi Turun IntoDental jrsintäkeskuksessa valmistetaan tällaisia työtilauksia. (Rakkolainen 2013.)



KUVIO 2. 3D-tulostettu kallon osa (Mustonen 2013)

3.2 Tulevaisuus Suomessa

Kuten muuallakin teollisuudessa myös hammastekniikassa 3D-tulostaminen tulee jossain vaiheessa yleistymään ja mahdollisesti syrjäyttämään muita valmistusvälineitä. Jo nyt olisi mahdollista saada erilaisia hammasteknisiä tuotteita tulostamalla, mutta se ei ole taloudellisesti kannattavaa. Kun tulevaisuudessa 3D-tulostimet halpenevat ja siten yleistyvät ja niiden tekniikka kehittyy, niin myös hammastekniikassa tulostetut työt tulevat yleistymään.

Nyt jo olisi mahdollista esimerkiksi tulostaa rankoja, jotka ovat laadultaan ja materiaaliltaan suuhun sopivia. Asia kuitenkin etenee vain kokeilemalla ja Suomessa alan pioneerina toimii Turun IntoDental jrsintäkeskus. Rankojen rungot ovatkin yksi mahdolli-

nen tulostuksen kohde tulevaisuudessa, koska silloin päästäisiin kokonaan hitaista vahausta ja dublikointivaiheista. Yksi jo kokeiltu mahdollisuus on tulostaa muovista rangan malli, joka sitten valetaan normaalisti. Yksi vaivaa aiheuttava asia on rangan puhdistaminen, tulostuksen jälkeen. Metallin tarvitsee niin sanottua tukiainetta, joka on vierierässä olevia metallisia ”putkia” ja jotka joudutaan poistamaan ennen kuin työ on valmis (ks. Kuvio 1). (Rakkolainen 2013.)

Vaikka vanhat menetelmät ovat edelleenkin käyttökelpoisia hammastekniikassa, niin tulevaisuudessa hammastekniset työt tulevat olemaan melkein kokonaan digitaalinen prosessi. Se ei kuitenkaan tarkoita sitä, ettei käsityötaitoja, esteettistä silmää ja muoto-tajua tarvita myös tulevaisuudessa, vaan niiden merkitys jopa korostuu. Tietysti töistä ei edelleenkään tulla selviytymään pelkällä insinööritaidolla vaan tarvitaan myös tietyn-laista herkempää otetta, vaikka työväline olisikin digitaalinen. Esimerkiksi esteettinen hammashoito on kasvava ala, johon 3D-tulostamisesta tulee olemaan valtavasti apua. (Vestala 2012.)

Tulevaisuutta on miltei mahdotonta arvioida varsinkaan tekniikan osalta, mutta digitaalisten suuskannereiden lisääntyessä kasvaa myös 3D-tulostamisen tarve. Yleisen arvi-on mukaan tulostaminen tulee lisääntymään varmasti, vaikka hammastekniikka onkin niin pieni ala, että uusi tekniikka lisääntyy melko hitaasti. Toisaalta pieniin ja keskisuu-riin hammaslaboratorioihin ei 3D-tulostimien yleistymisen tule vaikuttamaan vielä pit-kään aikaan. Esimerkiksi mallien valaminen on vielä pitkään halvempaa kuin niiden valmistaminen tulostamalla. Kipsi on halpaa ja mallit saadaan nopeasti käyttöön. Myös kipsin murtumisominaisuus on joissakin tapauksissa korvaamaton, jolloin tulostetulle mallille tehtäessä varsinaisen työn saaminen mallilta irti voi olla vaikeaa. Lisäksi ham-maslääkärit ovat ainakin vielä hankkineet suuskannereita maltillisesti ja edelleen valta-osa töistä tulee perinteisellä jäljennöksellä laboratorioon. (Jatkola 2013, Tuominen 2013.)

4 Koekappaleiden tulostus

Opinnäytetyössämme halusimme myös tulostaa jotain konkreettista, jotta ymmärtäisimme paremmin miten 3D-tulostus toimii, ja millaisia tuotteita sillä on tällä hetkellä mahdollista valmistaa. Koekappaleiden tulostuksen pääsimme suorittamaan Turun IntoDental jrsintäkeskuksessa.

Koekappaleiksi valitsimme 3D-tulostetut hammasmallit. Tulostusta käytetään tällä hetkellä enimmäkseen mallien valmistamiseen, joten halusimme nähdä miten tämä prosessi toimii.

Suukuvaus suoritettiin Turun Hammas-Pulssissa, hammaslääkäri Kari Kangasniemen vastaanotolla. Mallit käsiteltiin ja tulostettiin Turun IntoDental jrsintäkeskuksessa. Mallit käsitteli ja valmisti Turun IntoDental jrsintäkeskuksen toimitusjohtaja Tero Rakkolainen. Suukuvaus ja mallien käsittely suoritettiin 2.9.2013 ja mallit valmistettiin 3.9.2013. Hammaslääkäriin vastaanotolla käytettiin 3Shapen suukamerajärjestelmää, kuten myös mallit käsiteltiin 3Shapen ohjelmistolla.

4.1 Hampaiston kuvaus

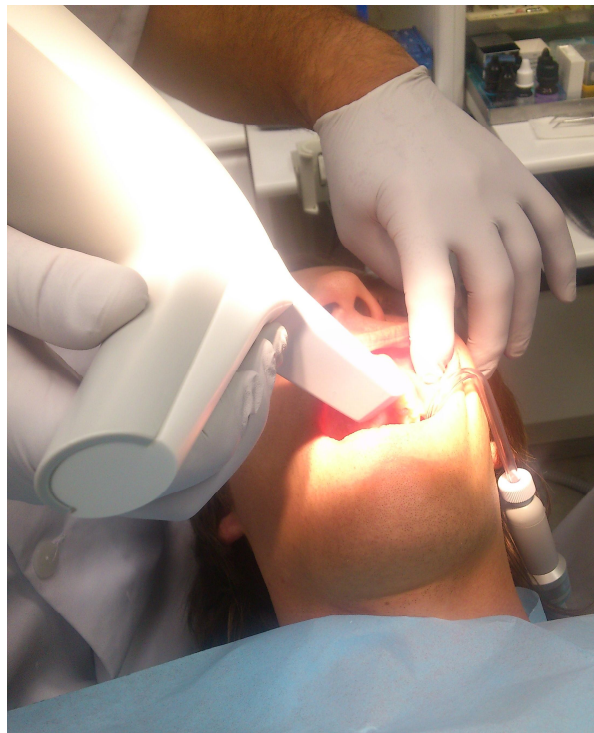
Hampaisto kuvataan aina sen mukaan, mitä toimenpiteitä hampaistolle ollaan tekemässä. Kuvauksen haasteellisuus riippuu siitä, kuinka paljon hampaisto täytyy kuvata. Koko leuan kuvaamiseen kuluu noin 20 minuuttia. Useimmissa töissä joudutaan kuvaamaan vain yksi sektori, joten kuvaaminen on paljon nopeampaa.

Kuvaaminen aloitettiin tekemällä järjestelmään uusi potilaskortti. Sähköiseen potilaskorttiin tulee potilaan henkilötiedot, siihen merkitään operoitavat hampaan ja niihin tehtävä hammasproteettinen työ. Tämä potilaskortti on helposti muokattavissa, ja siihen tallennettua dataa, kuten suukuvia, voidaan käyttää hyväksi esimerkiksi toisessa työssä, joka valmistetaan myöhemmin potilaan suuhun.

Suukamerassa (ks. kuvio 3) on irrotettava kuvauspää, joka on puhdistuksen kestävä. Kuvauspää voidaan asettaa kameraan neljään eri asentoon. Kuvaus aloitettiin lämmittämällä automaattisesti kuvauspäätä, jotta huurre ei estäisi kuvaamista. Suun kosteu-

della ei ole merkittävää vaikutusta kuvaukseen, mutta tämän kuvauksen aikana potilaan suussa oli koko ajan jatkuva kevyt imu päällä.

Suuta alettiin kuvata painamalla laukaisinta, jolloin data alkoi syntyä erilliselle näytölle. Näytössä näkyi syntynyt data, sekä reaali kuva suukamerasta. Kuvaus suoritettiin järjestelmällisesti, ensin hampaiden oklusaali-, bukkaali- ja sitten palatinaalipinta kuvattiin. Kamera ottaa kuvia hyvin tiheään tahtiin ja yhdistää niissä olevan datan kokonaisuudeksi. Jos kamera liikuttaa kerrallaan liikaa, se hukkaa paikan suussa, ilmoittaa siitä, jonka jälkeen pitää aloittaa uudelleen jo kuvatusta paikasta. Kuvaan ei haluta pehmytkudosta, koska sen paikka ei ole stabiili. Kesken kuvausta voidaan mitä vain dataa poistaa tai muokata. Voidaan esimerkiksi lukita jokin hyvin kuvattu kohta, jotta ei uusi data pilaisi esimerkiksi jo hyvin kuvattua hiontarajaa. Ylimääräistä esimerkiksi dataan päässyttä pehmytkudosta voidaan poistaa tai jotain kohtaa kuvata uudestaan saadaksesen parempi lopputulos.



KUVIO 3. Suukamera (Munne 2013)

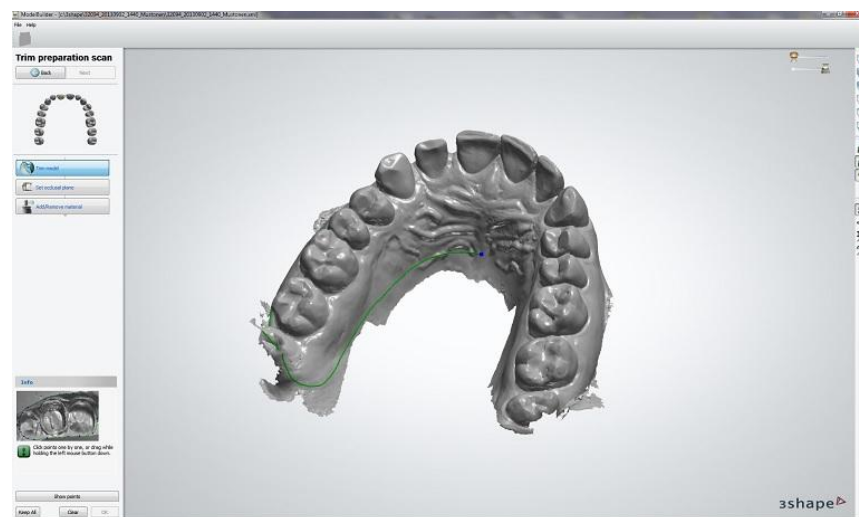
Kun kaikki tarvittava on kuvattu, voi hammaslääkäri muokata ja siistiä dataa jo vastaanotolla. Siitä voidaan ottaa pois alueita mitä ei tarvita, jolloin tiedosto kevenee. Tämän jälkeen tarvitaan parentaindeksi. Tietokone ilmoittaa tarvitaanko yksi vai kaksi

parentaindeksiä, isoissa töissä, kuten koko leuan kuvauksessa käytetään kahta parentaindeksiä. Hammaslääkäri ottaa kuvan hampaistosta kun potilas pitää leuat tiukasti kiinni. Kuvassa tulee näkyä sekä ylä-, että alahampaistosta muutama hammas. Tämän jälkeen kuvat yhdistetään koneella kuvattuun dataan, jolloin kone liittää hampaiston yhteen.

Kuvauksen ja digitaalisten mallien valmistuksen jälkeen data lähetetään laboratorioon. Lähetys tapahtuu muutamassa minuutissa ja kun tiedosto on lähetetty, saa laboratorio siitä heti ilmoituksen sähköpostiin. Läheteeseen hammaslääkäri pystyy myös lisäämään haluamiaan kommentteja ja myös hammasteknikko voi kirjoittaa omia kommenttejaan. (Kangasniemi 2013.)

4.2 3D-mallin suunnittelu

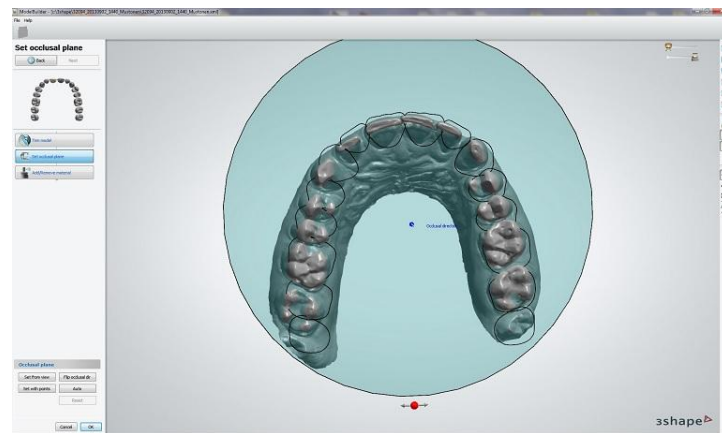
Kun hammaslääkäri on saanut työn lähetettyä sähköisesti laboratorioon, tulee siitä ilmoitus sähköpostiin. Hammasteknikko avaa lähetetyn tiedoston siihen soveltuvalla ohjelmalla. Suunnittelun aluksi sähköisessä muodossa olevat mallit ”trimmataan” eli niistä poistetaan kaikki, mitä konkreettisissa malleissa ei tulla tarvitsemaan (ks. kuvio 4). Jos skannauksessa on jäänyt katvealueita eli kohtia, mitä kamera ei ole nähnyt, niin ohjelma täyttää ne automaattisesti.



KUVIO 4. 3D-mallin trimmausta (Rakkolainen 2013)

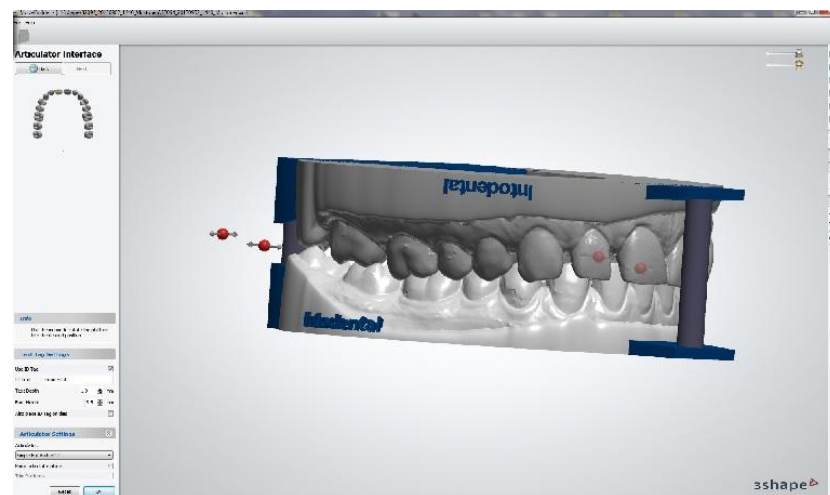
Jos työn olisi ollut kruunu tai silta, tässä vaiheessa siirryttäisiin toiseen ohjelmaan, jolla työ suunniteltaisiin. Meidän esimerkissä seuraavaksi asetetaan parentataso ohjelman

mukaiseksi (ks. kuvio 5). Varsinaisen purennan on jo hammaslääkäri aiemmin määrittänyt.



KUVIO 5. Purentatasoon asettaminen (Rakkolainen 2013)

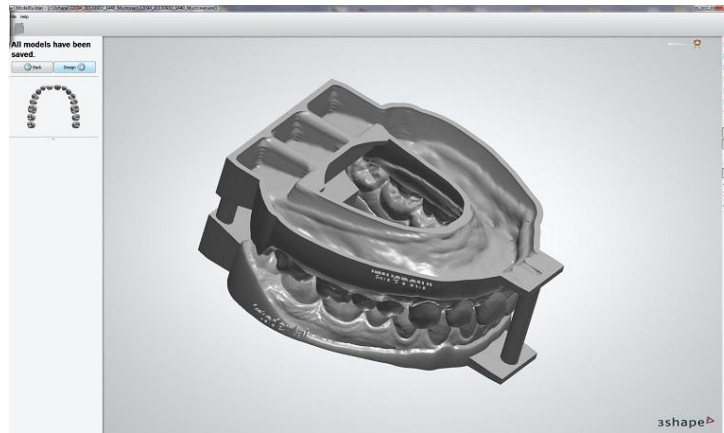
Seuraava vaihe on purennan tarkastaminen, jossa nähdään mallit semmoisena kuin ne tulostuvat (ks. kuvio 6). Purenta on jo asetettu niin sanottuun interkuspaaliasentoon eli hampaat on purennassa. Ne on tuettu myös kolmella purennankohdistuspilarilla, joista kaksi on takana sekä yksi edessä ja ne ovat keskeltä irti toisistaan. Mallit saadaan irti toisistaan, mutta ne on helppo asettaa myös purentaan pilarien avulla.



KUVIO 6. Purenta (Rakkolainen 2013)

Lopuksi malleista otetaan kaikki ylimääräinen materiaali pois. Tämä tehdään, jotta mallit olisivat mahdollisimman kevyitä ja materiaalia sekä tulostusaikaa säästettäisiin. Ohjelma kuitenkin laskee, että tarvittava määrä materiaalia tulostuu, jotta ne ovat tarpeek-

si kestäviä käytettäessä (ks. kuvio 7). Kun mallit on saatu tietokoneella valmiiksi, ne lähetetään datana tulostettavaksi.



KUVIO 7. 3D-mallit valmiit tulostettavaksi (Rakkolainen)

4.3 Mallien tulostus

Mallit saapuvat jysintäkeskuksen tietokoneelle, ja ne käyvät läpi 3D-tulostimen oman ohjelmiston. Käsittelijöiden ei välttämättä tarvitse olla hammasalan ihmisiä, vaan esimerkiksi insinöörejä, joilla on koulutus digitaalisten mallien, kuten STL -mallien käsittelyyn. Mallit asetellaan tulostusvalmiiksi, kuten jysittävät kappaleet aseteltaisiin jysintäkoneelle. 3D-tulostimessa on oikeat materiaalit jo valmiina ja tulostus voidaan käynnistää, jos muita töitä ei ole jonossa. Tulostus voidaan jättää käyntiin ilman valvomista, esimerkiksi yöksi, mutta sitä ei voida keskeyttää eikä kappaletta välillä poistaa tulostimesta (ks. kuvio 8). Kun tulostus on valmis, kappaleesta poistetaan ylimääräinen sidosaine pesemällä se painepesurilla, joka on laitevalmistajan kehittämä menetelmä. (Rakkolainen 2013.)



KUVIO 8. 3D-mallien tulostusta (Rakkolainen 2013)

5 3D-tulostuksen hyödyt hammastekniikassa

Aina kun syntyy uutta teknologiaa, se tuo omat hyötynsä perinteisten valmistusmenetelmien rinnalle. Tämä uusi teknologia säästää aikaa ja työvoimaa, parantaa laatua ja tarkkuutta hammasteknisten töiden valmistamisessa.

Hammasteknisen työn onnistuminen riippuu lähes kokonaan potilaan suusta otetusta jäljennöksestä. Perinteisellä menetelmällä otettuun jäljennökseen saadaan melko helposti aikaan erilaisia jäljennösvirheitä. Huomaamatta jääneet jäljennösvirheet tulevat vääjäämättä esiin valmiissa hammasteknisessä työssä, jota yritetään sovittaa potilaalle. (Kangasniemi 2013.) Uudella menetelmällä eli suun skannauksen, CAD-suunnittelun ja 3D-tulostamisen yhdistämisellä minimoidaan jäljennösvirheet. Saadaan aikaan tarkkoja ja istuvampia kruunuja, siltoja, työmalleja ja erilaisia oikomiskojeita entistä nopeammin.

3D-tulostamisella voidaan pienentää ruuhkahuippuja, kun esimerkiksi kruunujen vahaukset voidaan korvata tulostamalla vahasta. Menetelmä vähentää paljon myös perinteisten menetelmien vaatimia välivaiheita. Ei tarvita dublikaattimallia, koska ranka voidaan suunnitella suoraan 3D-mallille ja tulostaa muovista tai metallista. Muovinen rangon runko voidaan upottaa valumassaan ja valaa.

3D-tulostamisessa ei kulu turhaa materiaalia, koska tulostuskappaleeseen käytetään vain se materiaali mikä tulee lopulliseenkin työhön. Poikkeuksena kuitenkin erilaiset tukimateriaalit, jotka pestään pois kappaleen valmistuttua.

Tulostaminen mahdollistaa samanaikaisen manuaalisen käsityön tekemisen ja liiketoiminnan kehittämisen. Yhdellä tulostimella voidaan tuottaa päivässä satoja yksiköjä hampaita. Samalla tulostuskerralla voidaan tulostaa vaikka työmalleja, kruunuja ja erilaisia sovituskappaleita. Kun valmistusmenetelmäksi valitaan 3D-tulostaminen, ei tarvitse olla fyysisesti tekemisissä haitallisten aineiden kanssa. (Objet 3D Printers in the Dental Industry 2013.)

6 Pohdinta

Opinnäytetyössämme selvitimme, mikä merkitys on 3D-tulostuksella nykypäivänä hammastekniikassa sekä, mitä 3D-tulostuksella voidaan tulevaisuudessa tehdä. 3D-tulostus on tulossa vahvasti lähes jokaiselle alalle ja halusimme selvittää sen hyödyllisyyden ja mahdollisuudet alallamme. Opinnäytetyön aihe on juuri nyt todella ajankohtainen Suomessa. Metropolia Ammattikorkeakoulu on aikeissa hankkia oman tulostimen ja opinnäytetyön yhteistyökumppani Turun IntoDental jrsintäkeskus on kehittänyt eri tapoja hyödyntää 3D-tulostinta hammastekniseen käyttöön.

Opinnäytetyötä tehdessä vasta selvisi aiheen tarpeellisuus ja ajankohtaisuus. Vaikka kuulemamme mielipiteet tulostamisen tarpeellisuudesta poikkesivat vielä paljon toisistaan, niin siitä oltiin yhtä mieltä, että 3D-tulostaminen tulee vaikuttamaan hammasalaan tulevaisuudessa. Kehitys tällä alalla menee huimaa vauhtia eteenpäin ja siksi on todella vaikea sanoa, miten paljon ja kuinka nopeasti tulostaminen yleistyy.

Alun perin tavoitteenamme oli saada tietoa tulostamisesta kaikille hammasteknikoille, koska huomasimme, ettei siitä tiedetty paljoakaan eikä sen hyödyllisyyttä osattu nähdä. Mielestämme saimme kattavan selvityksen tämän hetken tilanteesta Suomessa. Tiedon tarpeellisuus riippuu kuitenkin paljon siitä, mikä on hammasteknikoiden ja -laboratorioiden halu kehittyä tällä saralla.

Työmme perustui tekniseen tietoon, jota saimme internetistä ja alan kirjallisuudesta, sekä haastatteluihin, joilla saimme erityistietoa oman alamme tilanteesta. Kaipaamiimme kysymyksiin saimme hyvin vastauksia ja lähes poikkeuksetta saimme ystävällisen ja auttavaisen vastaanoton. Vaikka haastattelimamme ihmiset olivat kiireisiä, he käyttivät hienosti aikaansa työmme hyväksi. Erityisen tärkeää oli päästä näkemään 3D-tulostamista ja siihen liittyvää työtä käytännössä Hammas-Pulssissa ja Turun IntoDental jrsintäkeskuksessa. Suosittelemmekin kaikille 3D-tulostamisesta kiinnostuneille tutustumista itse tulostusprosessiin, koska se on todella mielenkiintoista. Kaikki tekemämme haastattelut olivat hyvin vapaamuotoisia keskusteluita, mikä sopi hyvin meille, koska kysymysten asettelu oli vaikeaa aiheen laajuuden ja vähäisten tietojemme takia.

Yleinen tieto 3D-tulostamisesta oli todella rönsyilevää ja median mielenkiinto 3D-tulostusta kohtaan oli suurta opinnäytetyöprosessin aikana. Tiedostimme kuitenkin

ajoissa aiheen laajuuden ja rajasimme aiheen siten, ettei se paisuisi valtavasti. Tämän takia työmme koskee enimmäkseen vain tilannetta Suomessa ja tulostamiseen liittyvät sivutyöt kuten skannaus ja mallintaminen saivat pienemmän huomion.

Työtä tehdessä saimme myös erilaisia näkökantoja siihen, mitä hyötyjä ja mitä mahdollisia haittoja 3D-tulostuksesta on verrattuna materiaalia poistaviin valmistusmenetelmiin. 3D-tulostamalla pystytään myös valmistamaan kappaleita, joita on mahdoton valmistaa jyrsimällä. Sellaisia kappaleita voisi olla esimerkiksi ontot rakenteet tai liikkuvat osat. 3D-tulostimien kustannukset ovat niin korkeita, ettei kaikilla laboratorioilla ole mahdollisuutta hankkia omaa 3D-tulostinta. Tämä voi aiheuttaa sen, että työt keskittyvät isompiin hammaslaboratorioihin ja, että pienemmät hammaslaboratoriot alihankkivat töitä isommilta hammaslaboratorioilta. Uusi tekniikka voi myös vähentää pienien hammaslaboratorioiden määrää. 3D-tulostimet tulevat automatisoimaan hammasteknistä alaa ja vähentämään työpaikkoja hammaslaboratorioissa. 3D-tulostimen hankkiminen vaatii hammaslaboratoriolta erikoistumista ja paneutumista uuteen tekniikkaan.

Jatkotutkimuksen aiheina voisi olla tulostettujen kappaleiden laadun tutkiminen ja vertailu eri tulostimilla. Myös koko maailman tilannetta tulostamisen osalta voisi selvittää, siitä voisi saada Suomeenkin uutta hyödyllistä tietoa. 3D-tulostamisen kannattavuus olisi myös järkevä ja mielenkiintoinen tutkimuksen aihe, mitä me myös sivusimme omassa työssämme. Vastaavan opinnäytetyön tekeminen tulee ajankohtaiseksi muutamana vuoden päästä, ellei aiemminkin, koska tulostustekniikat uusiutuvat niin nopeasti.

Lähteet

3D-Printers n.d. Stratasys. Verkkodokumentti. <<http://www.stratasys.com/3d-printers/design-series/precision/objet-eden260v>> Luettu 1.9.2013.

Historia, 3D-tulostin n.d. Verkkodokumentti. <<http://3dtulostin.com/historia/>> Luettu 22.9.2013.

Jatkola, Sami 2013. Myyntiedustaja Plandent Oy. Helsinki. Sähköpostihaastattelu 30.8.

Kaikki tahtovat 3D-tulostimen. Helsingin Sanomat 23.3.2013. Verkkodokumentti. <<http://www.hs.fi/tekniikka/Kaikki+tahtovat+3D-tulostimen/a1363933703697>> Luettu 26.3.2013.

Kangasniemi, Kari 2013. Hammaslääkäri, Hammas-Pulssi. Turku. Haastattelu 2.9.

Lohilahti, Jarkko 2011. Selvitys 3D-tulostamisen tilanteesta Suomessa. Verkkodokumentti. <https://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/36967/Lohilahti_Jarkko.pdf?sequence=1> Luettu 25.4.2013.

Minifactory 2013. Verkkodokumentti. <<http://www.minifactory.fi/>> Luettu 1.9.2013.

Mitä on 3D-tulostus n.d. C-Advice. Verkkodokumentti. <<http://www.c-advice.com/?q=node/35>> Luettu 25.4.2013.

Muuttaako 3D-tulostus maailman. Helsingin Sanomat 23.3.2013. Verkkodokumentti. <<http://www.hs.fi/tekniikka/Muuttaako+3D-tulostus+maailman/a1363933593081>> Luettu 26.3.2013.

Oma tehdas työpöydällä - 3D-tulostimet 2012. Rautasofta.Net. Verkkodokumentti. <http://rautasofta.net/3d_tulostimet.html> Luettu 1.9.2013.

Objet 3D Printers in the Dental Industry n.d. Engatech. Verkkodokumentti. <<http://www.engatech.com/3D-Printers-Dental.asp>> Luettu 28.9.2013.

OBJET ja Connex 3D tulostimet hammasteknisessä käytössä 2012. NC-tuote Oy. Verkkodokumentti. <http://www.nc-tuote.fi/files/4113/5748/1939/Objet_3D-tulostus_hammastekniikassa.pdf> Luettu 24.11.2012.

Paukku, Timo 2013. Kymmenen uutta ihmettä. Gaudeamus. Tampere.

Pihlajamäki, Janne 2011. Tuotekehitysprojekti: 3D-tulostin. Verkkodokumentti. <http://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/37359/Pihlajamaki_Janne.pdf?sequence=1> Luettu 14.9.2013.

Pikamallit n.d. Virtuaaliyliopisto. Verkkodokumentti. <<http://www.uiah.fi/virtu/materiaalit/muoviteknologia/pikamallit/index.html>> Luettu 19.4.2013.

Price compare - 3D-Printers n.d. Verkkodokumentti.
<<http://www.3ders.org/pricecompare/3dprinters/>> Luettu 1.9.2013.

Printattua elämää. Hämeen Sanomat 2.6.2013.

Replacement Technology for Replacement Technology.Tct Issue 13.4.2013.

Rakkolainen, Tero 2013. Hammaslaborantti, Turun IntoDental jyrintäkeskus. Turku.
Haastattelu 2.9.

Tulostimet n.d. Foilpack. Verkkodokumentti.
<http://www.3dtulostimet.fi/projet_3d_tulostimet.html> Luettu 1.9.2013.

Tuominen, Ilkka 2013. Hammasteknikko, Hammasteknikkoliiton pj. Ilkka Tuominen Oy.
Helsinki. Haastattelu 28.8.

Vestala, Vilho 2012. Myyntiedustaja. NC- tuote Oy. Lahti. Sähköpostihaastattelu 12.12.

VTT visioi: 3D-tulostuksesta Suomelle uusi Nokia. Yle-Uutiset 19.9.2013. Verkkodoku-
mentti. <[http://yle.fi/uutiset/vtt_visioi_3d-
tulostuksesta_suomelle_uusi_nokia/6837596](http://yle.fi/uutiset/vtt_visioi_3d-tulostuksesta_suomelle_uusi_nokia/6837596)> Luettu 21.9.2013

