

Jani Thusberg

Palokypärään kiinnitettävän valaisinkiinnikkeen tuotekehitys

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Kone- ja tuotantotekniikka

Insinööriytyö

17.3.2017

Tekijä Otsikko	Jani Thusberg Palokypärään kiinnitettävän valaisinkiinnikkeen tuotekehitys
Sivumäärä Aika	44 sivua 17.3.2017
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Kone- ja tuotantotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Energia- ja ympäristötekniikka
Ohjaajat	Materiaalipäällikkö Sirpa Alanne Lehtori Timo Junell
<p>Tämän insinööri työn aiheena oli palokypärään kiinnitettävän valaisinkiinnikkeen tuotekehitys. Työ tehtiin Helsingin kaupungin pelastuslaitokselle. Ensisijaisena tavoitteena oli selvittää, voisiko käytössä olevasta valaisinkiinnikkeestä kehittää uuden, yksinkertaisen ja kevyen version, joka ei vaadi sovitinkappaletta valaisimen kiinnittämiseksi pidikkeeseen. Toisena tavoitteena oli 3D-tulostusmateriaalien lämmönkestoon tutustuminen ja arvio kustannustehokkaimmasta valmistustavasta.</p> <p>Työ toteutettiin mittaamalla aluksi sovitinkappale ja valaisin työntömitalla, minkä jälkeen valaisinkiinnike mitattiin koordinaattimittauskoneella. Mittaustulosten avulla 3D-mallinnettiin uusi versio valaisinkiinnikkeestä CAD-ohjelmalla. Seuraavaksi valmistettiin testikappale 3D-tulostamalla. Mallinnukseen tehtiin muutoksia testikappaleilla tehtyjen testien perusteella, kunnes saatiin tulostettua kiinnike, jonka toimivuuteen oltiin tyytyväisiä.</p> <p>Työn lopputuloksena saatiin kypärään hyvin kiinnittyvä, 3D-tulostamalla valmistettu testikappale, johon valaisin voidaan kiinnittää ilman sovitinkappaletta ja sen tuottaman valonsäteiden suunta on oikea. 3D-tulostusmateriaalien lämmönkestoon tutustuttaessa havaittiin joidenkin materiaalien kestävästi korkeitakin lämpötiloja. Arvioidessa kustannustehokkainta valmistustapaa, todettiin sen riippuvan valmistettavasta kappalemäärästä. Tulosten perusteella olisi mahdollista tehdä jatkokehitystä kiinnikkeen materiaalin ja valmistustavan valinnan, sekä palokypärän lisävarusteelle suoritettavien testien muodossa.</p>	
Avainsanat	Tuotekehitys, koordinaattimittaus, 3D-mallinnus, 3D-tulostus, valaisinkiinnike, palokypärä

Author Title Number of Pages Date	Jani Thusberg Product Development of a Lamp Bracket 44 pages 17 March 2017
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Mechanical and Production Engineering
Specialisation option	Energy and Environmental Engineering
Instructors	Sirpa Alanne, Materials Manager Timo Junell, Senior Lecturer
<p>The topic of this Bachelor's thesis was to develop a lamp bracket attached to a fire helmet. This thesis was commissioned by Helsinki City Rescue Department. The primary objective was to examine if a new, simple and light version of a lamp bracket could be created that does not require an adapter to attach a flashlight to a helmet. The second objective was familiarization with the heat resistance of 3D printing materials and an estimation of what would be the most cost-effective manufacturing method.</p> <p>The thesis was carried out by first measuring the adapter and flashlight with a caliper and after that the lamp bracket with a coordinate measuring machine. A new version of the bracket was 3D modeled based on the measurement data using CAD software. Next, test pieces were 3D printed. After the tests were carried out with test pieces, changes were made on the modeling, until a well-functioning bracket was printed.</p> <p>As a result, a 3D printed test piece was created which fits well on the helmet. A flashlight can be attached to it without an adapter and the direction of the produced light beam is correct. When familiarizing with the heat resistance of 3D printing materials, it was discovered that there are materials that can withstand high temperatures. The most cost-effective manufacturing method was found to depend on the quantity of the manufactured products. Based on the results, it would be possible to develop further the selection of the materials and manufacturing methods for the bracket. In addition, tests are required in the future for the different options for the fire helmet.</p>	
Keywords	Product development, coordinate measuring, 3D modeling, 3D printing, lamp bracket, fire helmet

Alkusanat

Haluan kiittää Helsingin kaupungin pelastuslaitosta tästä opinnäytetyömahdollisuudesta ja materiaalipäällikkö Sirpa Alannetta työn ohjauksesta. Kiitokset myös pelastuslaitoksen tietotekniikkasuunnittelija Juha Jäntille, joka toimi 3D-tulostimen käyttäjänä, sekä varusmestari Sanna Thusbergille, joka piti huolen siitä, että kaikki työhön tarvittavat varusteet olivat saatavilla. Kiitokset kuuluvat myös lehtori Timo Junellille palautteesta ja hyvistä neuvoista raportin kirjoitusprosessissa.

Helsingissä 17.3.2017

Jani Thusberg

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
1.1	Työn tausta	1
1.2	Työn tavoitteet	1
2	Koordinaattimittaus	2
2.1	Koordinaattimittauksen teoriaa	2
2.2	Koordinaattimittauskone	3
3	3D-mallinnus ja 3D-tulostus	8
3.1	3D-mallinnus	8
3.2	3D-tulostus	11
3.2.1	Esimerkkejä 3D-tulostusmenetelmistä	14
3.2.2	Tulostusmateriaalit	18
4	Nykyinen valaisinkiinnike	20
5	Valaisinkiinnikkeen tuotekehitys	24
5.1	Mittaus	24
5.2	Mallinnus	29
5.3	Testikappaleiden valmistus	33
5.4	Valmistustapa	37
5.5	Materiaali	37
6	Tulokset ja päätelmät	38
6.1	Keskeiset tulokset	38
6.2	Työn arviointia	38
6.3	Jatkokehitys	39
7	Yhteenveto	40
	Lähteet	42

Lyhenteet

3D	Three dimension - kolmiulotteinen
ABS	Akryylinitriilibutadieenistyreeni - muovilaatu
CAD	Computer Aided Design - tietokoneavusteinen suunnittelu
DMLS	Direct Metal Laser Sintering - metallin lasersintraus
FDM	Fused Deposition Modeling - kappaleen valmistus pursottamalla
IGES	Initial Graphics Exchange Specification - tiedostoformaatti
PA12	Polyamidi 12 - tekninen muovi
PC	Polykarbonaatti - termoplastinen polymeeri
PEEK	Polyeetterieetteriketoni - aromaattinen polymeeri
PEI	Polyeetteri-imidi - amorfinen kestopuovi
PLA	Polylaktidi - biohajoava polyesteri
SLS	Selective Laser Sintering - lasersintraus

1 Johdanto

1.1 Työn tausta

Helsingin pelastuslaitoksen palotaistelijoitten varustukseen kuuluu kypärä, jonka tarkoitus on suojata päätä ja kasvoja liekeiltä, iskuilta, kemikaaleilta sekä sähkövirralta. Kypärään on mahdollista hankkia kypärän valmistajalta lisävarusteena valaisinkiinnike ja siihen asennettava valaisin. Pelastuslaitos on korvannut tämän kypärän valmistajan valaisimen uudella valaisimella, jota ei pysty asentamaan suoraan kyseiseen valaisinkiinnikkeeseen. Tämän takia pelastuslaitos on hankkinut sovitinkappaleen, jonka avulla uusi valaisin saadaan kiinnitettyä valaisinpidikkeeseen ja asennettua kypärään.

Valaisinkiinnikkeen kehitykselle on tarvetta, koska nykyinen kiinnikkeen ja sovitinkappaleen yhdistelmä on painava. Koska paino sijaitsee pään alueella, verrattain pienikin painonpudotus voisi olla tuntuva muutos. Vaatii myös ylimääräistä työtä, jotta valaisin saadaan asennettua sovitinkappaleeseen ja että sovitinkappale saadaan pysymään kypärään kiinnitettävässä valaisinkiinnikkeessä. Valaisinkiinnikkeen kehittämällä voitaisiin siis päästä eroon ylimääräisestä työstä, sekä parantaa kypärän käyttäjän työmukavuutta, pään alueelle kohdistuvan painon putoamisen muodossa.

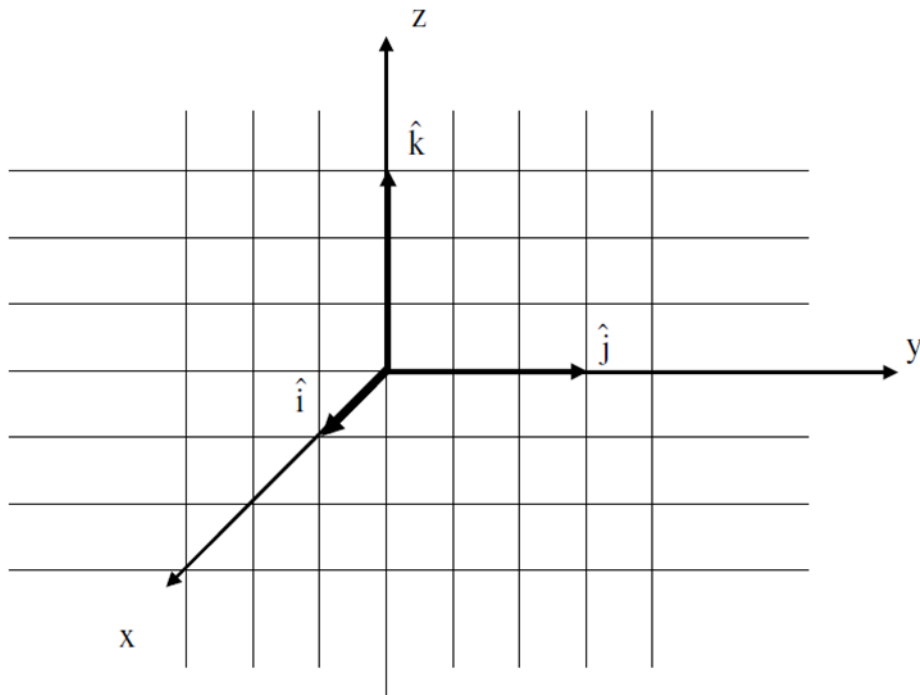
1.2 Työn tavoitteet

Työn ensisijaisena tavoitteena on kehittää valaisinkiinnikkeestä yksinkertainen ja kevyt versio, johon valaisin voidaan kiinnittää vaivattomasti ilman sovitinkappaletta. Valaisimen tulee myös osoittaa oikeaan suuntaan. Uuden valaisinkiinnikkeen pitää myös sopia hyvin kypärään, eli sen pitää mukailla hyvin kypärän muotoja ja pysyä tukevasti kiinni. Tavoitteena on, että työn lopussa on olemassa 3D-tulostamalla valmistettu testikappale, jolla tehtyjen testien perusteella voidaan todeta, että mallinnus on onnistunut ja kiinnike täyttää edellä mainitut vaatimukset. Työn toisena tavoitteena on 3D-tulostusmateriaalien lämmönkestoon tutustuminen ja kustannustehokkaimman valmistustavan arviointi.

2 Koordinaattimittaus

2.1 Koordinaattimittauksen teoriaa

Tila-avaruudessa mielivaltaisesti valitulla pisteellä on kolme koordinaattia, x , y ja z , joille voidaan piirtää akselit (kuva 1) (Internetix 2016).



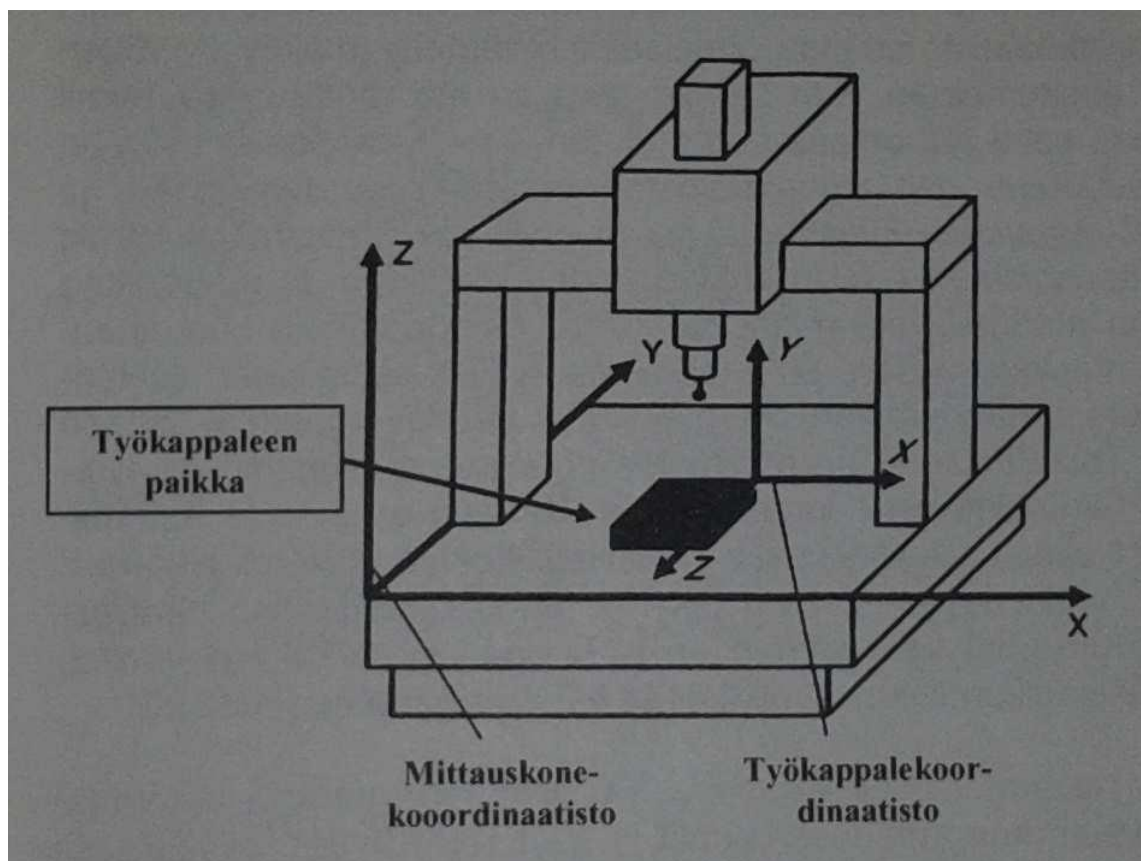
Kuva 1. Kolmiulotteinen koordinaatisto (Internetix 2016)

Koordinaattimittauksella tarkoitetaan koordinaattien määrittämistä tasossa tai tila-avaruudessa. Mittauksia voidaan suorittaa eri tavoilla, esimerkiksi laserskannerilla, holografiolla, röntgenmittauksella tai koordinaattimittauskoneella. Monille erilaisille toimialoille tarkoitettut koneet, joilla voidaan suorittaa koordinaattimittauksia, eivät ole kompakteja vaan useista ohjelmista, laitteista ja menetelmistä koottuja mittausjärjestelmiä. Kappaleiden digitointi yleistyy ja uusia menetelmiä mittaukseen syntyy jatkuvasti. (Tikka 2007: 16.)

2.2 Koordinaattimittauskone

Koordinaattimittauskoneella voidaan mitata kolmiulotteisessa koordinaatistossa kappaleen pinnalta yksittäisten pisteiden paikkoja, joiden avulla muodostetaan kappalegeometria. Mittaustuloksia voidaan käyttää hyväksi suunnittelussa, valmistuksessa sekä laadunvarmistuksessa. (Tikka 2007: 9, 25.)

Koordinaattimittauskoneita löytyy erilaisilla runkorakenteilla, joista yleisin on portaalityyppinen kone kiinteällä, kivistä valmistetulla painavalla pöydällä varustettuna. Kone on yleensä asennettu värähtelyvaimentimille, joihin toimivat kumityynyt tai paineilmakäyttöiset vaimentimet. Tällaisessa runkorakenteessa portaali liikkuu koneen y-akselin suuntaisesti ja portaaliin kytketty luisti x-akselin suuntaisesti. Luistiin kytketty pylväs, johon on asennettu myös mittausanturi, liikkuu koneen z-akselin suuntaisesti. (Kuva 2.) (Tikka 2007: 47 - 48.)



Kuva 2. Portaali-koordinaattimittauskoneen koordinaatisto (Tikka 2007: 31)

Mittausantureita on koskettavia ja koskemattomia. Koskettavaan mittausanturiin on kytketty mittauskärki, jonka koskettaessa kappaleen pintaa anturi ilmoittaa äänimerkillä pisteen rekisteröinnistä (kuva 3). Mittausanturit täytyy kalibroida ennen mittauksen aloittamista, mittauskoneen pöytään kiinnitetyn kalibrointipallon avulla. Kalibrointi tehdään, jotta mittakärjen keskipiste saataisiin määritettyä tarkasti.



Kuva 3. Mittauskärki

Kappaletta koskemattomassa optisessa mittausmenetelmässä voidaan käyttää mittausanturina esimerkiksi laseria (kuva 4) tai videokameraa. (Tikka 2007: 33 - 34.)



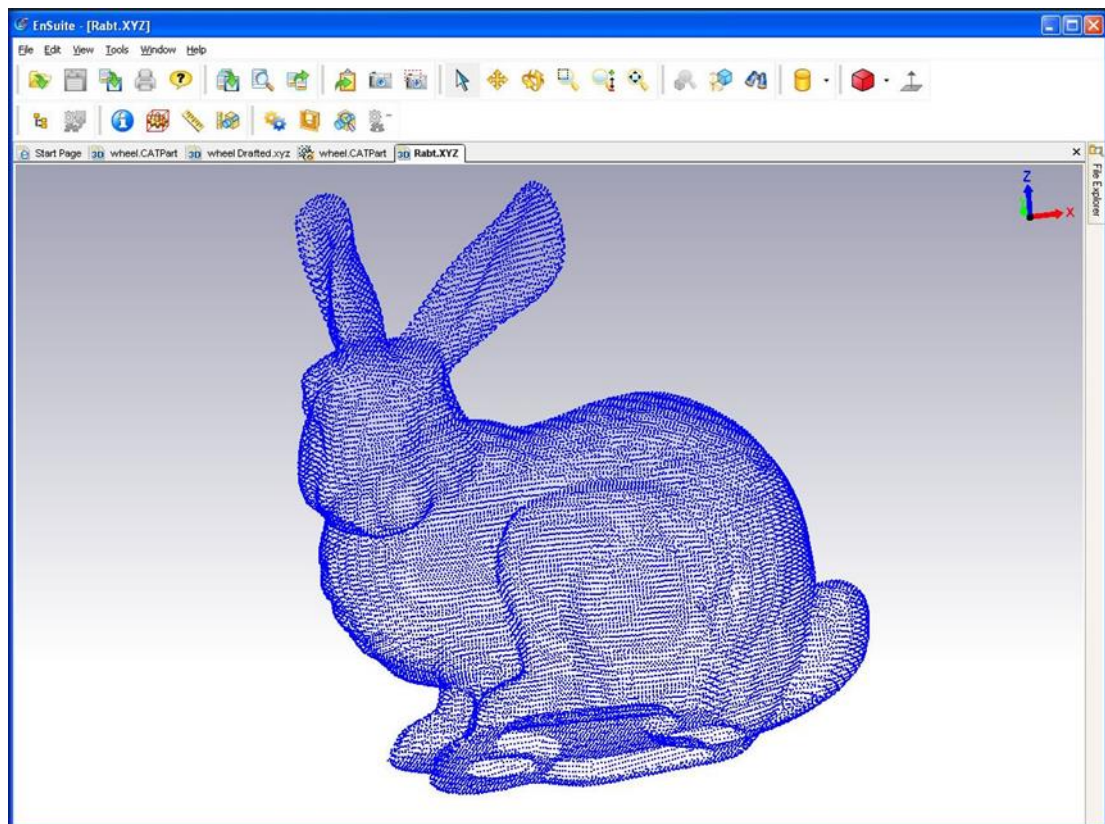
Kuva 4. Lasermittausanturi, sekä laserin kalibrintipallo ja säilytysteline

Mittausanturit kiinnitetään mittauskoneessa kiinni olevaan istukkaan, jolla anturi voidaan kääntää haluttuun kulmaan, mikäli istukasta löytyy tämä ominaisuus. Mittausanturin ja mittauskärjen väliin voidaan asentaa jatkovarsi, mikäli mittauskärjen varsi on liian lyhyt. (Kuva 5.)



Kuva 5. 90 asteen kulmaan käännetyn koskettavan mittapään kalibrointi

Jos kappale halutaan digitoida, eli tehdä siitä esimerkiksi CAD-malli, määritetään sen geometria mittaamalla pisteitä sen pinnalta. Tätä pisteiden joukkoa voidaan kutsua pistepilveksi (kuva 6). (Tikka 2007: 302.)



Kuva 6. Pistepilvi (Engineering Specifier 2008)

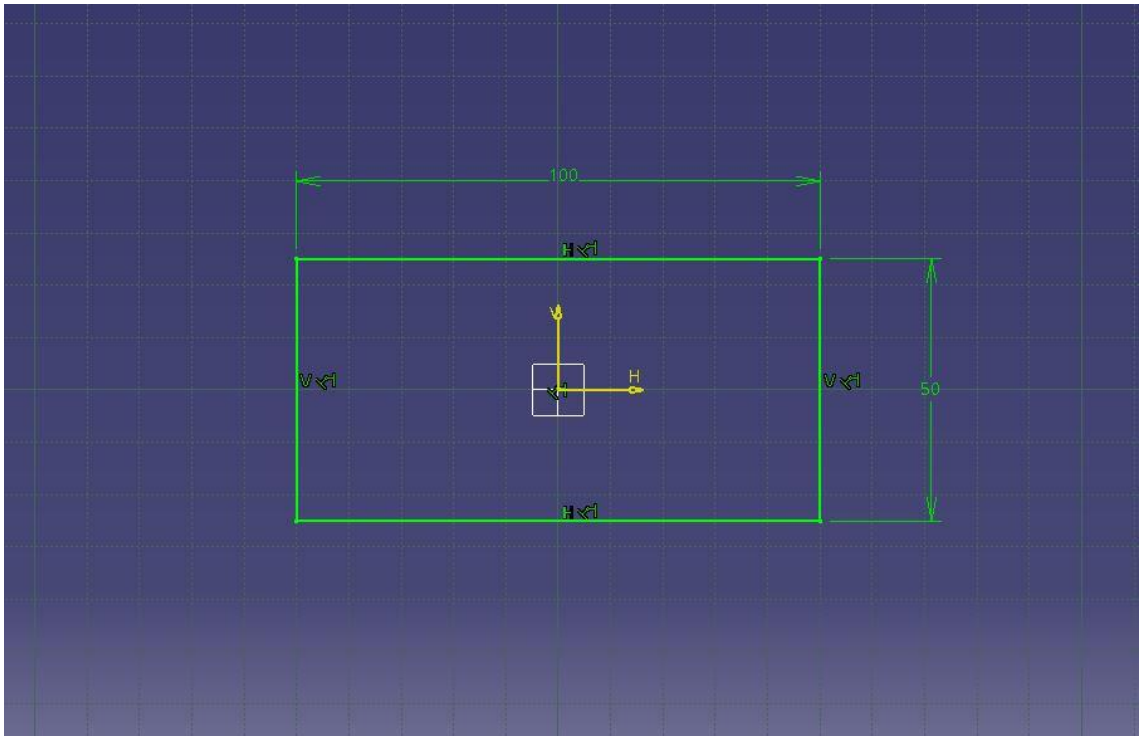
3 3D-mallinnus ja 3D-tulostus

3.1 3D-mallinnus

Tietokoneen avulla suoritettavaa 3D-mallinnusta voidaan käyttää suunnittelun apuna useilla eri teollisuuden haaroilla. Mallinnusohjelmissa on lukematon määrä eri komentoja, joiden avulla on mahdollista suunnitella ja mallintaa monimutkaisia kokonaisuuksia. Esimerkiksi suunniteltaessa mekaanista laitetta, voidaan mallinnettujen osien mahdolliset yhteensopivuusongelmat havaita ja korjata jo ennen testikappaleiden valmistusta. Mallinnusta voidaan käyttää myös tuotteen markkinointiin, jolloin uutta tuotetta voidaan esitellä asiakkaalle ennen tuotteen valmistusta. Ensimmäisiä CAD-ohjelmia käytettiin 2D-piirustusten tekoon, kunnes ohjelmien kehitys mahdollisti 3D-mallinnuksen. 3D-mallinnus voi olla rautalankamallinnusta, tilavuusmallinnusta tai pintamallinnusta. Esimerkiksi mallinnettaessa pallo, näyttävät pinta- ja tilavuusmalli samalta, mutta pintamalli on sisältä ontto. Rautalankamallissa kappaleesta mallinnetaan luuranko, eli kappaleella ei ole pintoja, vain ääriviivat. Teollisuudessa nykyisin käytetyistä mallinnusohjelmista suurin osa on parametriseen piirremallinnukseen perustuvia. (Bilalis 2000: 2 - 12.)

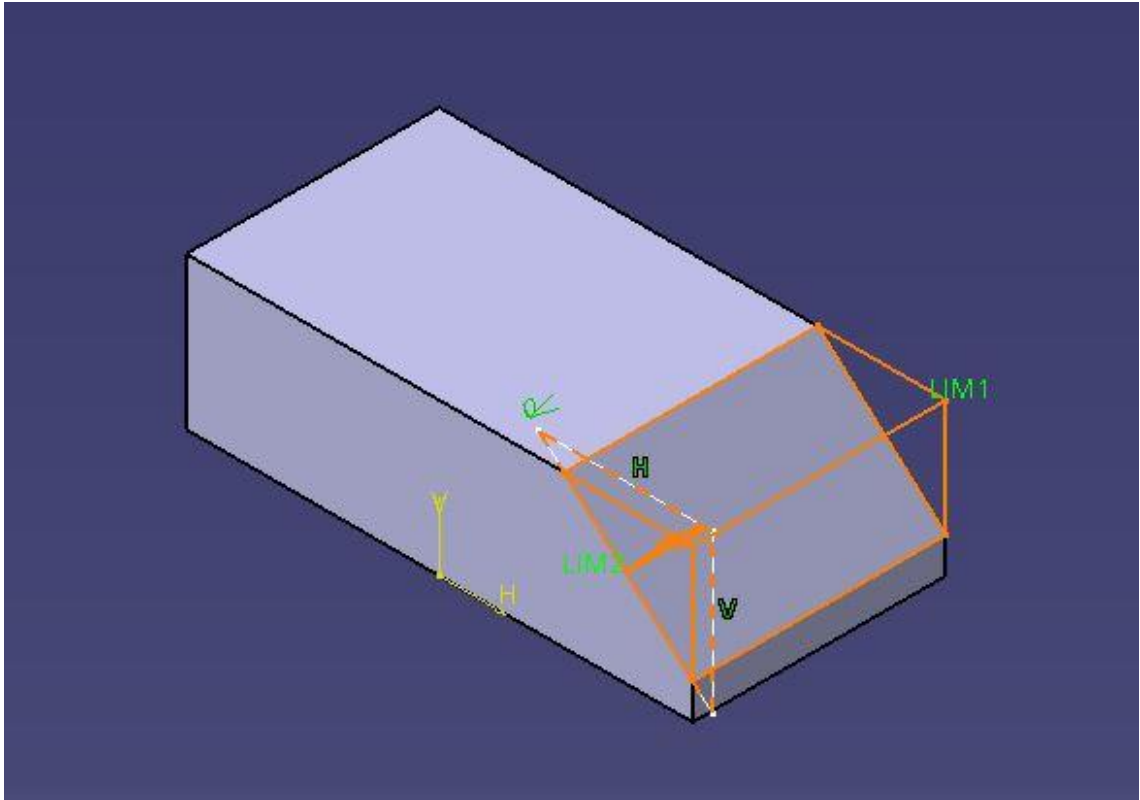
Verrattain uusi näkemys on suoramallinnus, jolloin kappaleelle ei määritellä parametreja, vaan sen muotoja voidaan vapaasti muuttaa. Jos esimerkiksi mallinnetaan laatikko, voidaan sen kokoon vaikuttaa yksinkertaisesti ottamalla sen reunasta kiinni ja vetämällä. (Cunningham 2015.)

Mallinnus CATIA 3D-mallinnusohjelmalla perustuu parametriseen piirremallintamiseen, jossa mallit rakentuvat yksittäisistä piirteistä, joille määritellään parametreja, esimerkiksi kappaleen mitat. Aluksi avataan piirtotila, jossa määritetään kappaleen kaksiulotteinen geometria (kuva 7). (Metropolia 2014.)



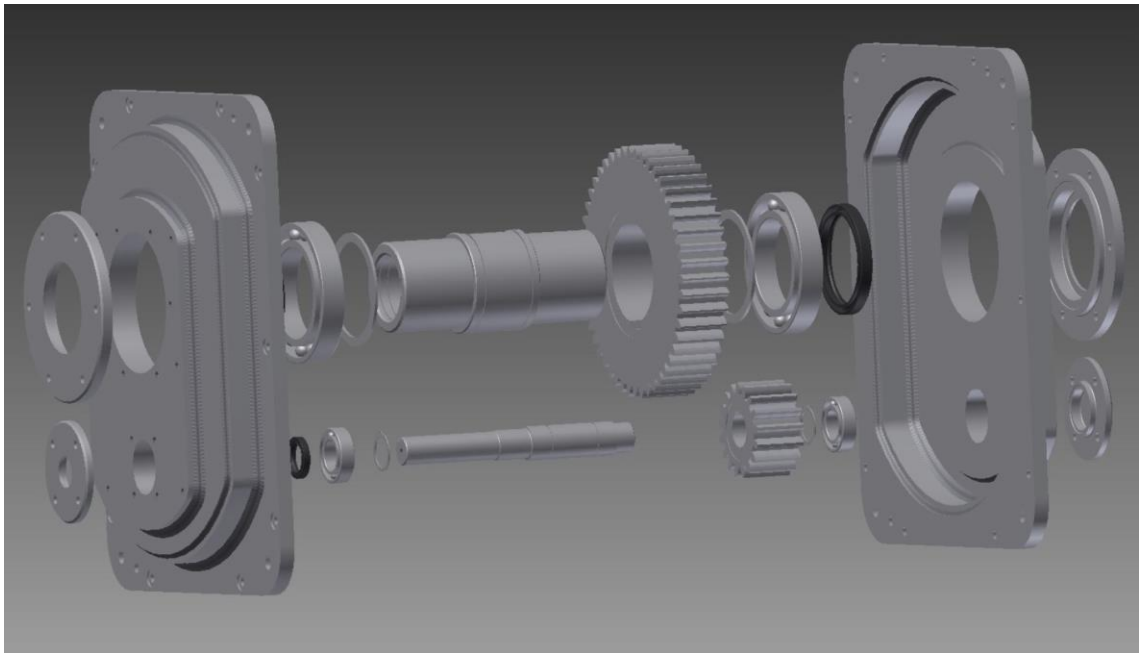
Kuva 7. Piirtotila

Tästä geometriasta voidaan tehdä tilavuuselementti eli solidi pursottamalla. Piirteiden avulla voidaan myös muokata tilavuuselementtejä, esimerkiksi leikata osia pois (kuva 8). Tilavuuselementtejä yhdistelemällä saadaan yhtenäinen tilavuus, jota kutsutaan tilavuusmalliksi. Tilavuusmalli voi koostua yhdestä tai useammasta tilavuuselementistä. (Metropolia 2014.)



Kuva 8. Piirteestä pursotetun tilavuuselementin muokkaus leikkaamalla

Mallinnetut kappaleet voidaan liittää toisiinsa kokoonpanotilassa, jossa ne asemoidaan toistensa suhteen tietyillä reunaehdoilla. Komponentteja voidaan mallintaa myös suoraan kokoonpanoon. Tällöin voidaan käyttää hyväksi kokoonpanoon tuotuja valmiita malleja, joiden mittojen perusteella mallinnetaan uusi komponentti. Kokoonpano voidaan myös "räjäyttää" ruudulla, jolloin myös piilossa olevat komponentit saadaan näkyviin (kuva 9). (Metropolia 2014.)



Kuva 9. Kokoonpanon räjäytyskuva

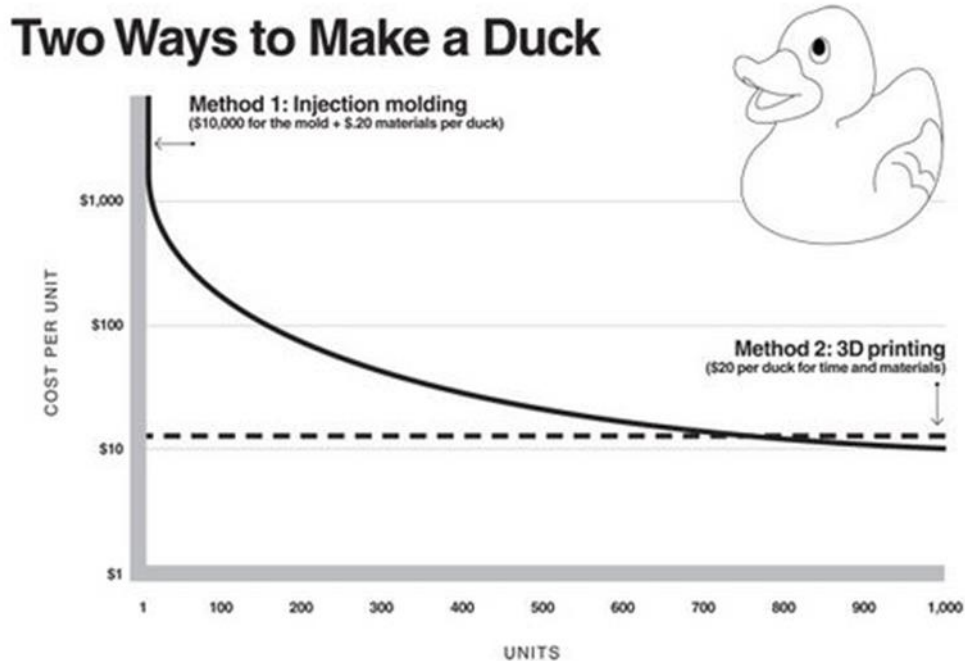
CATIAn lisäksi muita tyypillisiä CAD-ohjelmia ovat SolidWorks, Inventor, AutoCAD, Vertex ja Creo.

3.2 3D-tulostus

3D-tulostustuksen muodollinen nimi teollisuudessa, materiaalia lisäävä valmistus, kuvaa hyvin tämän valmistustavan toimintaperiaatetta. 3D-tulostusmenetelmissä tulostin lisää materiaalia kerros kerrokselta tulostusalustalle, kunnes kolmiulotteinen kappale on valmis. (Lipson & Kurman 2013: 65.)

3D-tulostusta ei yleensä mielletä suurien kappalemäärien, vaan yksittäisten testikappaleiden valmistustavaksi. Yksi 3D-tulostuksen hyvistä puolista on se, että kappaleesta

voidaan tehdä hyvinkin monimutkainen, ilman että siitä aiheutuu lisäkustannuksia valmistukseen. (Graham 2015.) Kappaleen valmistusmenetelmä ei siis aseta rajoituksia kappaleen suunnitteluun. Tuotteeseen on myös helppo tehdä muutoksia tuotannon alkamisen jälkeenkin, tarvitsee vain muokata kappaleen 3D-mallia tietokoneella ja siirtää uusi tiedosto tulostimelle. Perinteiset valmistusmenetelmät ovat yleensä kustannustehokkaampia, jos tuotetta valmistetaan paljon. Hinta kappaletta kohti laskee sitä enemmän, mitä enemmän tuotetta valmistetaan, kun taas 3D-tulostuksessa hinta kappaletta kohti on sama, riippumatta siitä valmistetaanko tuotetta yksi vai tuhat kappaletta, kuten kuvasta 10 nähdään. (Anderson 2012: 87.)



Kuva 10. Kumiankkojen valmistus (Anderson 2012: 88)

3D-tulostuksella on aina vain kasvavassa määrin käyttökohteita. Esimerkiksi tekoraajoja, kuulokojeita sekä yksilöllisiä, muovista valmistettuja hammasrautoja voidaan valmistaa tulostamalla. Myös lentokoneen metallisia osia voidaan valmistaa tulostamalla (kuva 11). (Lipson & Kurman 2013: 107.) Suomalaisessa metalliteollisuudessa metallin 3D-tulostuksen hyödyntäminen on vielä harvinaista pääkilpailijamaihin verrattuna (Eurometalli 2015). Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy kehittää elintarvikkeiden valmistusmenetelmää, jossa hyödynnetään 3D-tulostusteknologiaa (VTT 2016).



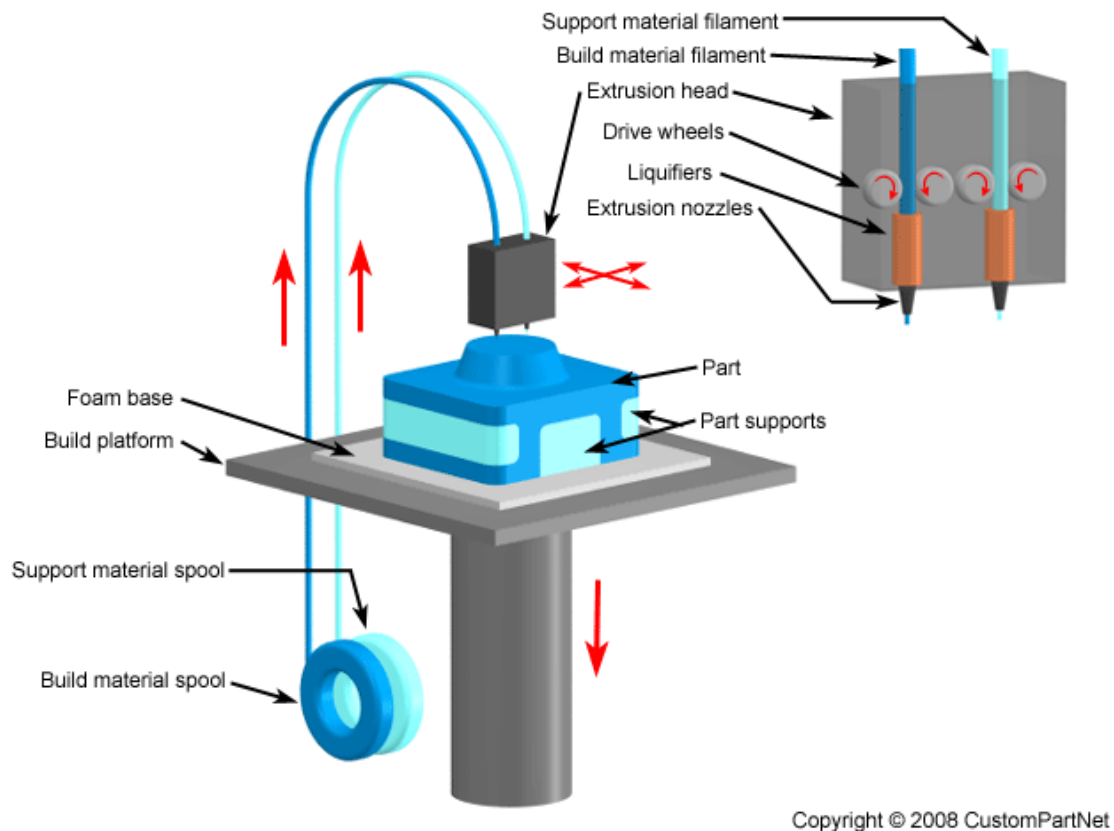
Kuva 11. 3D-tulostettu suihkumoottorin korkeapainekompressorin imuilma-anturin kotelo (Kellner 2015)

3D-tulostus voi tuoda muutoksia myös yritysten varaosien valmistukseen ja varastointiin. Sen sijaan että suuria määriä varaosia makaisi hyllyissä, niitä säilytettäisiin digitaalisesti ja 3D-tulostettaisiin tarpeen mukaan, lähellä loppukäyttäjää. Tämä vähentäisi varastointitarvetta ja vapauttaisi yrityksen varaosiin sitoutunutta pääomaa, joka isoilla yrityksillä voi olla satoja miljoonia euroja. (Eurometalli 2016.)

3.2.1 Esimerkkejä 3D-tulostusmenetelmistä

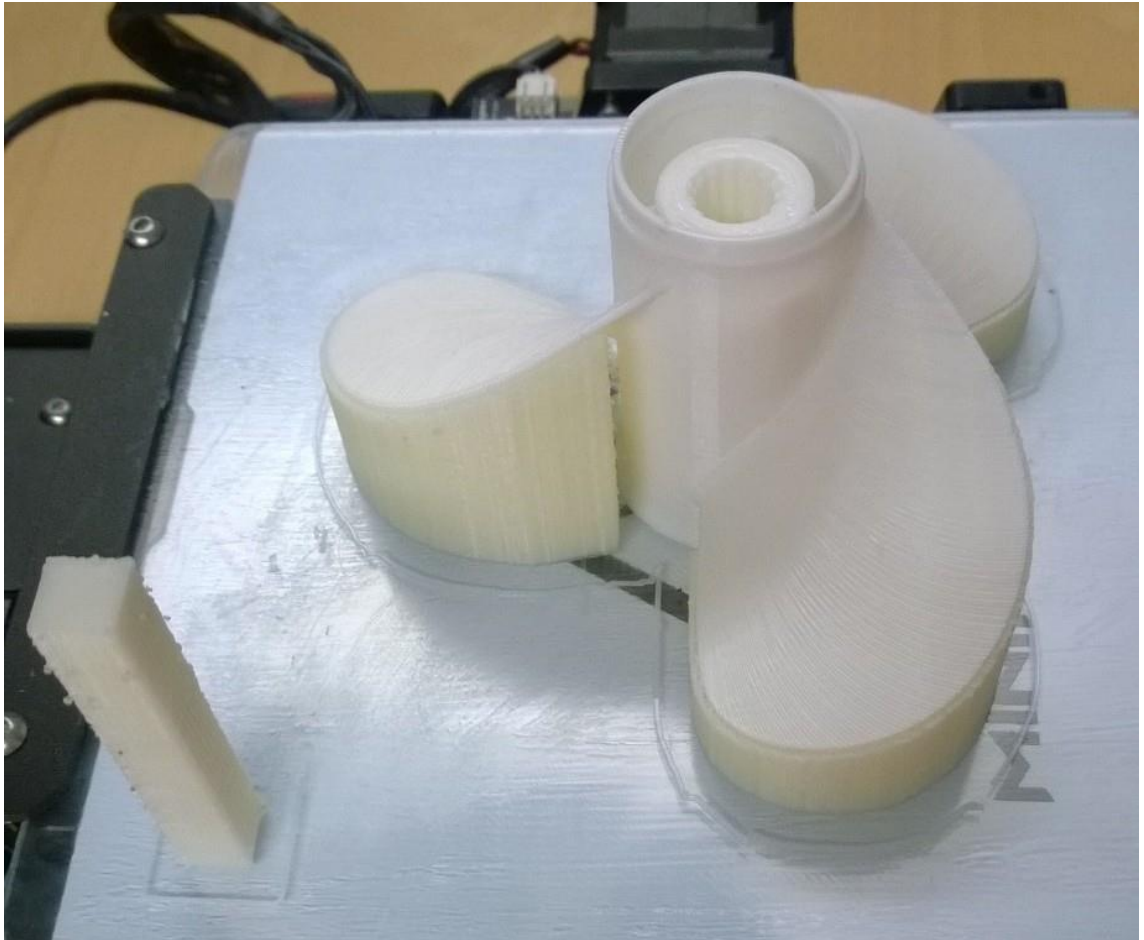
FDM

Fused Deposition Modeling eli FDM-menetelmässä (kuva 12), kuten kaikissa muissakin 3D-tulostusmenetelmissä, tulostimeen syötetään aluksi tiedosto, joka sisältää tulostettavan kappaleen kolmiulotteisen geometrian. Tämän jälkeen tulostimeen asennettu ohjelma viipaloi kappaleen geometrian ja laskee radan, jota pitkin tulostimen suuttimen tulee liikkua. Ohjelma laskee myös esimerkiksi sen, kuinka paljon tulostimen tulee pursottaa materiaalia suuttimen läpi tietyssä kohdassa rataa, jota suutin seuraa. Kun yksi kerros on valmis, liikkuu tulostimen tulostusalausta, jolla kappale lepää, alaspäin ja uusi kerros tulostuu edellisen päälle. Lopputuloksena saadaan kerros kerrallaan tulostettu valmis kappale. (Lipson & Kurman 2013: 68 - 70.)



Kuva 12. Fused Deposition Modeling (FDM) (Custompart.net 2008a)

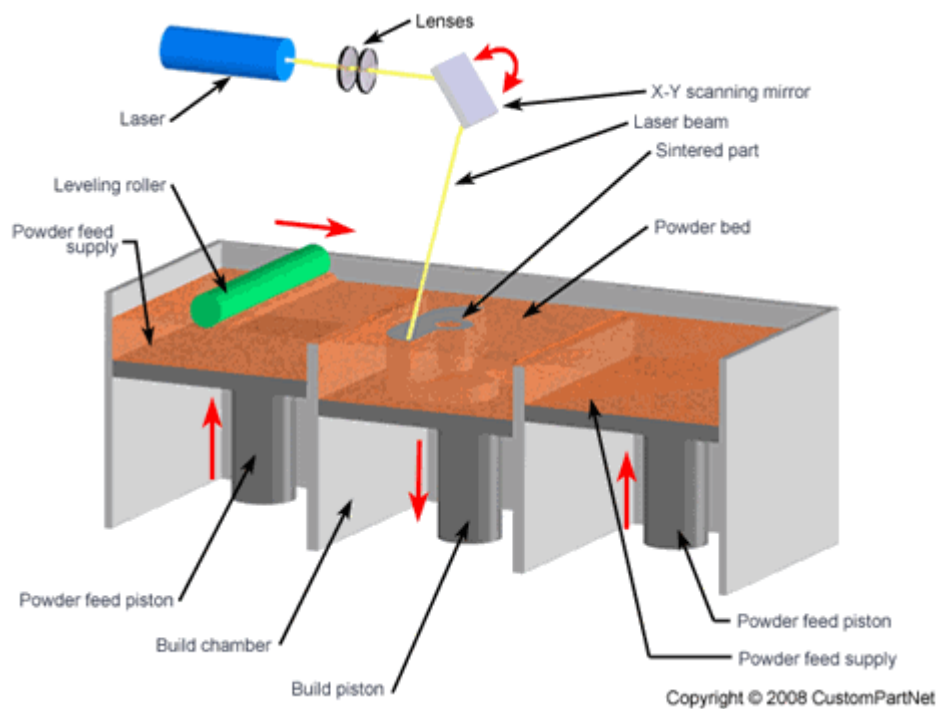
Jotkin kappaleet saattavat vaatia tukien tulostamisen, mikäli siinä on kohtia, jotka ovat tyhjän päällä. Mikäli tulostimessa on kaksi suutinta, voidaan tulostuksessa käyttää esimerkiksi veteen liukenevaa tukimateriaalia. Tulostimen ohjelmisto lisää automaattisesti tuet niihin kohtiin, joissa niitä tarvitaan (kuva 13). (miniFactory Oy Ltd 2015.)



Kuva 13. 3D-tulostetun potkurin tukirakenteet lapojen alapuolella (miniFactory Oy Ltd 2015)

SLS ja DMLS

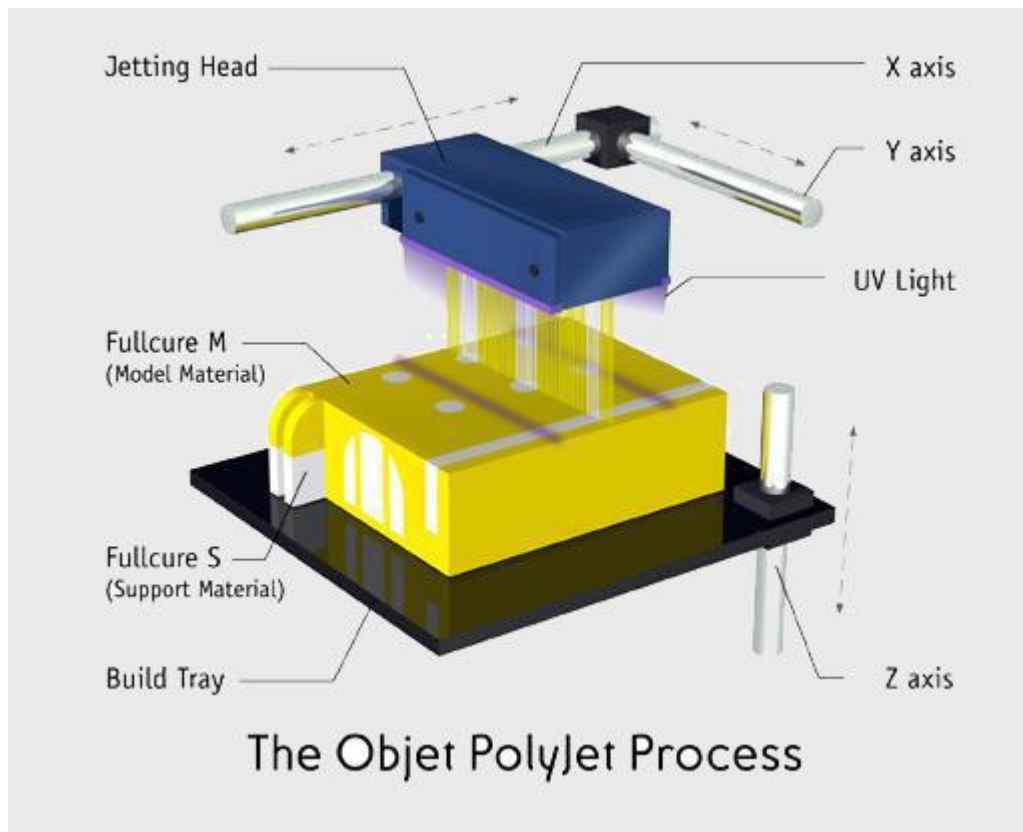
Selective Laser Sintering (SLS) (kuva 14) ja Direct Metal Laser Sintering (DMLS) ovat käytännössä sama asia. DMLS-menetelmästä puhutaan, kun tulostusmateriaalina on metalli. Molemmissa menetelmissä, tulostusalustalle ohuina kerroksina levitettyyn pulverin muodossa olevaan materiaaliin kohdistetaan laser, jolloin pulveri laserin osoittamassa kohdassa kuumenee hieman materiaalin sulamispistettä alempaan lämpötilaan ja yhdistyy kiinteäksi kappaleeksi. (Core77 2014.) Seuraavaksi tulostin laskee tulostusalustaa ja levittää uuden kerroksen pulveria, ja tätä toistetaan, kunnes kappale on valmis (Lipson & Kurman 2013: 75).



Kuva 14. Selective Laser Sintering (SLS) (Custompart.net 2008b)

PolyJet

PolyJet 3D-tulostus toimii tavallisen mustesuihkutulostimen tavoin. Musteen sijasta, tulostin suihkuttaa tulostusalustalle fotopolymeeriä, joka kovetetaan UV-valon avulla. Tulostimen tulostuspää liikkuu tulostusalustan ylitse, jolloin sen keskelle asennetut suuttimet suihkuttavat nestemäistä fotopolymeeriä tulostusalustalle ja tulostuspään reunoille asennetut UV-valonlähteet kovettavat sen välittömästi. Tulostusalusta liikkuu alaspäin kerroksen valmistuttua ja jatkaa tätä, kunnes kappale on kerros kerrokselta valmistunut. Laite suihkuttaa kappaleen materiaalin lisäksi myös nestemäistä tukimateriaalia, joka myös kovetetaan välittömästi. (Kuva 15.) Tukimateriaali saadaan pestyä pois valmiin kappaleen pinnalta vedellä tai pesuaineliuoksella. Tulostimeen kytkettyyn tietokoneeseen asennettu ohjelmisto määrittää automaattisesti kappaleiden tulostussuunnan ja tukimateriaalin tarpeen. (Stratasys 2017.)



Kuva 15. PolyJet-prosessi (Proto3000 2016)

3.2.2 Tulostusmateriaalit

Yleisin 3D-tulostusmateriaali on muovi, joka voidaan jakaa kahteen pääryhmään: kesto-
muovit ja kertamuovit. Kestomuovit voidaan sulattaa uudelleen, mutta kertamuovit voi-
daan sulattaa vain kerran. Kestomuoveihin kuuluva termoplastinen ABS on tyypillisin ku-
luttajille suunnatuissa tulostimissa käytetty materiaali muovia tulostettaessa. Muita tulos-
tusmateriaaleja ovat metallit, kuten esimerkiksi titaani, teräs tai volframi. Myös keraami-
sia materiaaleja voidaan käyttää, sekä jossain määrin betonia tai lasia. Materiaalina voi
olla jopa keksitaikina tai eläviä soluja sisältävä geeli. (Lipson & Kurman 2013: 68, 82 -
83.)

Seuraavassa on esitelty muutamia 3D-tulostukseen soveltuvia muoviseoksia. Materiaa-
leista mainitaan sulamispiste tai maksimi käyttölämpötila, jossa valmista kappaletta voi
käyttää. FDM-menetelmään soveltuvista tulostusmateriaaleista mainitaan myös vaadittu
suuttimen lämpötila. Hintojen avulla voidaan vertailla, millaisia taloudellisia eroja materi-
aalien ja eri valmistusmenetelmiin jalostettujen tuotteiden välillä on.

Polyeetterieetteriketoni (PEEK)

Polyeetterieetteriketinin mekaaninen lujuus säilyy korkeissakin lämpötiloissa (Aikolon
Oy 2015). PEEK-materiaalia voidaan jalostaa käytettäväksi sekä ruiskuvalussa että 3D-
tulostuksessa. FDM-menetelmän tulostusfilamentin maksimi käyttölämpötila on 260 °C.
Tulostimen pitää kyetä nostamaan suuttimen tulostuslämpötila 380 °C:seen. Yksi 200
g:n rulla maksaa 180 €. (Apium Additive Technologies GmbH 2016.) SLS-menetelmän
tulostuspulverin maksimi käyttölämpötila on 180 °C - 260 °C välillä, riippuen käyttösovel-
luksesta. Yksi kg maksaa noin 360 €. (EOS 2016.) Ruiskuvalumateriaali maksaa noin
100 €/kg (Plastics News 2016a).

Polyeetteri-imidi (PEI)

Polyeetteri-imidi on luontaisesti palosuojattu muovi, jolla on lähes yhtä hyvät ominaisuu-
det kuin PEEK:llä. 3D-tulostusfilamentin maksimi käyttölämpötila 200 °C. Vaadittu suut-
timen tulostuslämpötila 350 °C. Rulla joka sisältää 200 g, maksaa 100 €. (EOS 2016.)
Ruiskuvaluun sopiva PEI-materiaali maksaa noin 19 €/kg (Plastics News 2016a).

Polykarbonaatti (PC)

Maksimi käyttölämpötila 121 °C. Tulostuslämpötila 285 °C. Rulla joka sisältää 500 g tulostusfilamenttia, maksaa 32 €. (3D-tulostus.fi.) Ruiskuvaluun sopiva PC-materiaali maksaa noin 5 €/kg (Plastic News 2016b).

Polyamidi 12 (PA12)

Polyamidi 12 -materiaalista valmistetun 3D-tulostuspulverin, johon on lisätty palonsuoja-ainetta, sulamispiste on 185 °C (EOS 2013). Yksi kg maksaa noin 105 € (Carnegie Mellon University 2014).

Polylaktidi (PLA)

PLA on biohajoava polymeeri, joka on yleisesti käytetty 3D-tulostusmateriaali FDM-menetelmän tulostimissa. PLA:n lasisiirtymälämpötila on noin 60 °C - 65 °C, jonka jälkeen kappale alkaa pehmetä ja sulaa noin 180 - 220 °C:ssa. (RepRap 2016b.) Tulostuslämpötila on 180 °C - 210 °C. Rulla joka sisältää 1 kg:n tulostusfilamenttia, maksaa noin 44 €. (miniFactory Oy Ltd 2017b.)

Akryliniitriilibutadieenistyreeni (ABS)

ABS on toinen hyvin yleisesti käytetty materiaali FDM-menetelmän 3D-tulostimissa. ABS:n lasisiirtymälämpötila on noin 105 °C, jolloin kappale alkaa pehmetä. ABS on amorfinen aine ja siksi sillä ei ole todellista sulamislämpötilaa, mutta tulostuksessa käytetty materiaali sulaa noin 230 °C:ssa. (RepRap 2016a.) ABS-materiaalin suositeltu tulostuslämpötila on 240 °C - 270 °C. 1 kg:n rulla maksaa noin 44 €. (miniFactory Oy Ltd 2017a.) Ruiskuvaluun jalostettu ABS-materiaali maksaa noin 3,5 €/kg (Current Resin Pricing 2017).

4 Nykyinen valaisinkiinnike

Helsingin pelastuslaitoksen käyttämiin palokypäriin voidaan asentaa valaisin muovisen valaisinkiinnikkeen ja metallisen sovitinkappaleen avulla (kuva 16).



Kuva 16. Vasemmalla sovitinkappale ja oikealla valaisinkiinnike

Valaisinkiinnikkeeseen on porattava reikä, jotta osien välinen liitos voidaan varmistaa ruuvilla (kuva 17).



Kuva 17. Ruuviliitos

Valaisimeen kuuluva klipsi täytyy irrottaa, jotta valaisin voidaan kiinnittää sovitinkapaleeseen. Klipsiä irrottaessa, saattaa valaisimen sisällä oleva tiivisterengas rikkoutua (kuva 18).



Kuva 18. Klipsi, rikkoutunut tiivisterengas ja valaisin

Valaisin kiinnitetään sovitinkappaleeseen ruuvien avulla, joka puristaa sen paikoilleen. Sovitinkappaletta on mahdollista kääntää, joten valaisimen tuottama valonsäde voidaan tilanteen vaatiessa suunnata esimerkiksi alaspäin, toisen palotaistelijan häikäisemisen välttämiseksi (kuva 19).



Kuva 19. Valaisin asennettuna palokypärään

5 Valaisinkiinnikkeen tuotekehitys

5.1 Mittaus

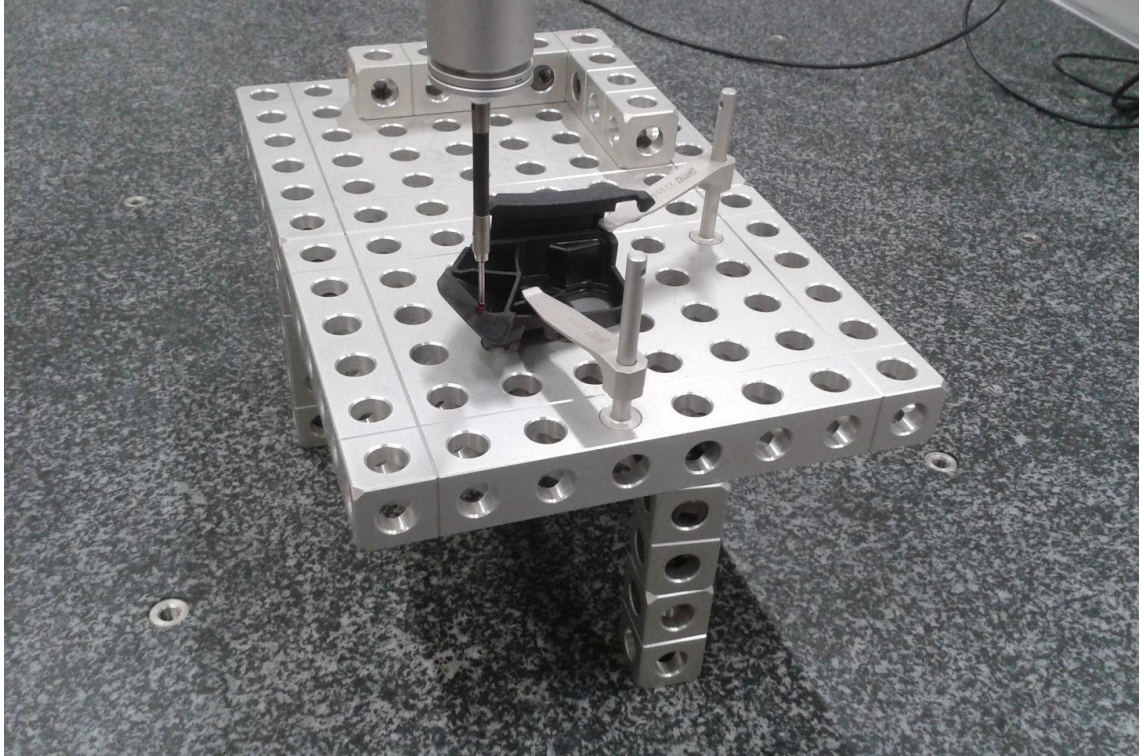
Aluksi käytössä oleva valaisinkiinnike, sovitinkappale ja valaisin mitattiin. Sovitinkappaleen ja valaisimen yksinkertaiset muodot mahdollistivat kappaleiden mittaamisen digitaalisen työntömitan avulla. Saadut mittaustulokset merkittiin paperille piirrettyihin hahmotelmiin mallinnusta varten.

Valaisinkiinnike sisältää paljon monimutkaisia muotoja, joten sen mittaukset suoritettiin Metropolia Ammattikorkeakoulun koordinaattimittauskoneella (kuva 20).



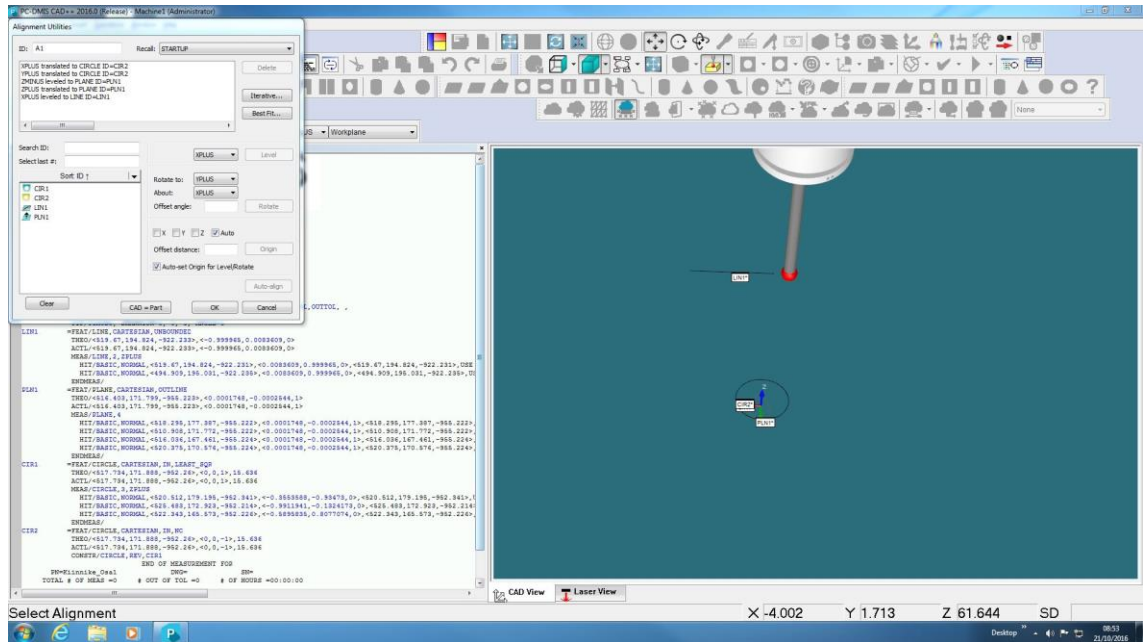
Kuva 20. Metropolian koordinaattimittauskone

Mittaaminen aloitettiin kalibroimalla mittausanturi. Seuraavaksi, ennen kappaleen lukitsemista kiinnitystelineeseen, poistettiin siitä palanen mittauksen helpottamiseksi. Tämän jälkeen aloitettiin kypärää vasten olevan puolen mittaaminen (kuva 21).



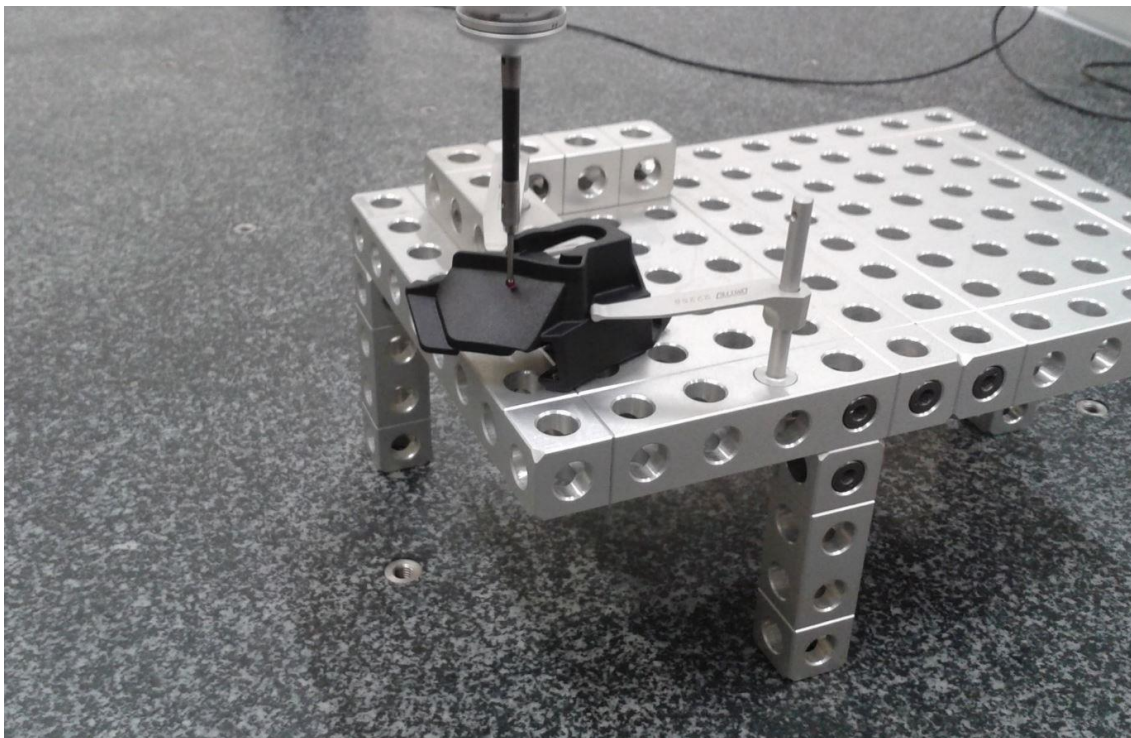
Kuva 21. Kypärää vasten olevan puolen mittaus

Aluksi mittauskärjellä osoitettiin kappaleesta pisteet, joista luotiin piirteet: viiva, ympyrä ja taso. Näiden piirteiden avulla kappaleen koordinaatisto sijoitettiin haluttuun paikkaan (kuva 22). Koska kappale piti mitata kahdelta puolelta, tuli nämä pisteet valita niin, että niiden osoittaminen oli mahdollista myös kappaleen kääntämisen jälkeen. Kun koordinaatiston paikka oli määritelty, mitattiin ensimmäinen puoli. Koordinaatiston sijoitusta varten luotujen piirteiden lisäksi tehtiin kaksi ympyrää, jotka helpottivat kappaleiden koonpanoa mallinnusvaiheessa.



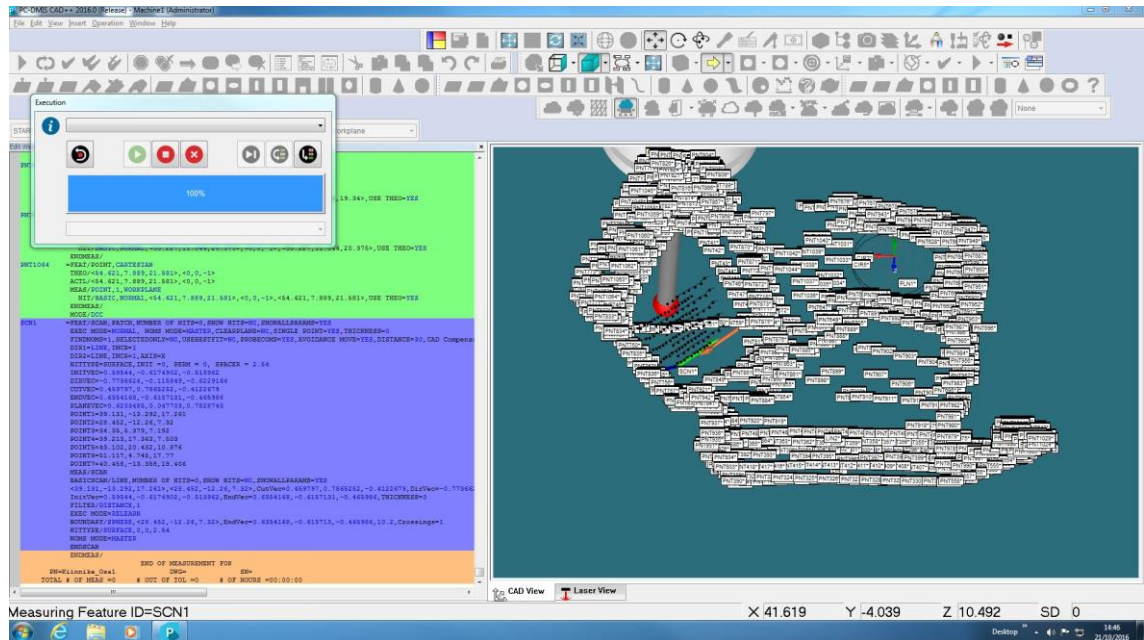
Kuva 22. Koordinaatiston määrittely

Seuraavaksi kappale käännettiin ja luotiin piirteet koordinaatiston sijoitusta varten. Koordinaatiston määrittelyn jälkeen suoritettiin mittaukset (kuva 23).



Kuva 23. Kappaleen mittaus kääntämisen jälkeen

Lopulta mittaustuloksina saatiin käyttökelpoinen pistejoukko, joista suurin osa mitattiin manuaalisesti kauko-ohjaimen avulla. Kappaleessa oli vain muutamia pintoja, jotka voitiin mitata automaattisesti määrittelemällä koneelle alue, jonka sisältä pisteitä mitattiin (kuva 24).

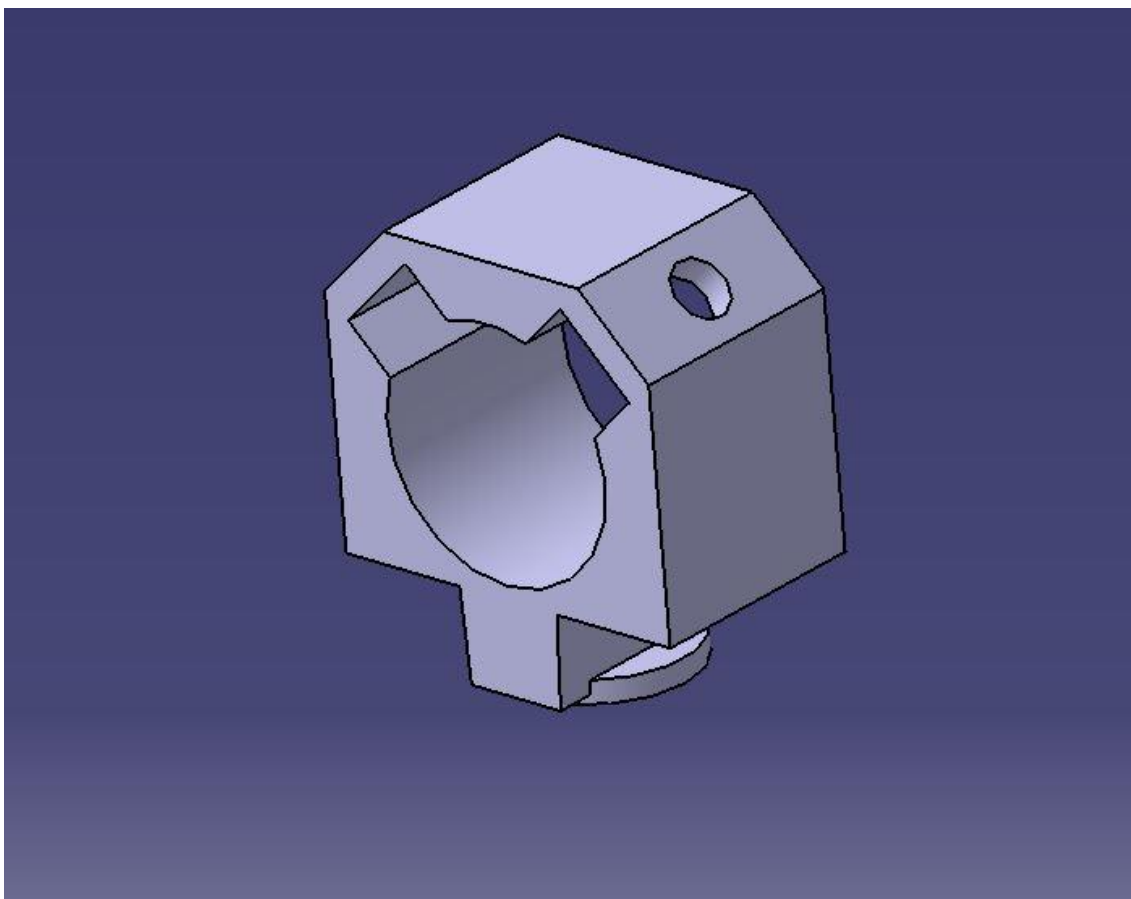


Kuva 24. Mittauskoneeseen kytketyn tietokoneen näytön näkymä mittausta suoritettaessa

Mittaustulokset tallennettiin IGES-tiedostomuodossa, jolloin pistejoukkoa voitiin käyttää mallinnuksen apuna 3D-mallinnusohjelmassa.

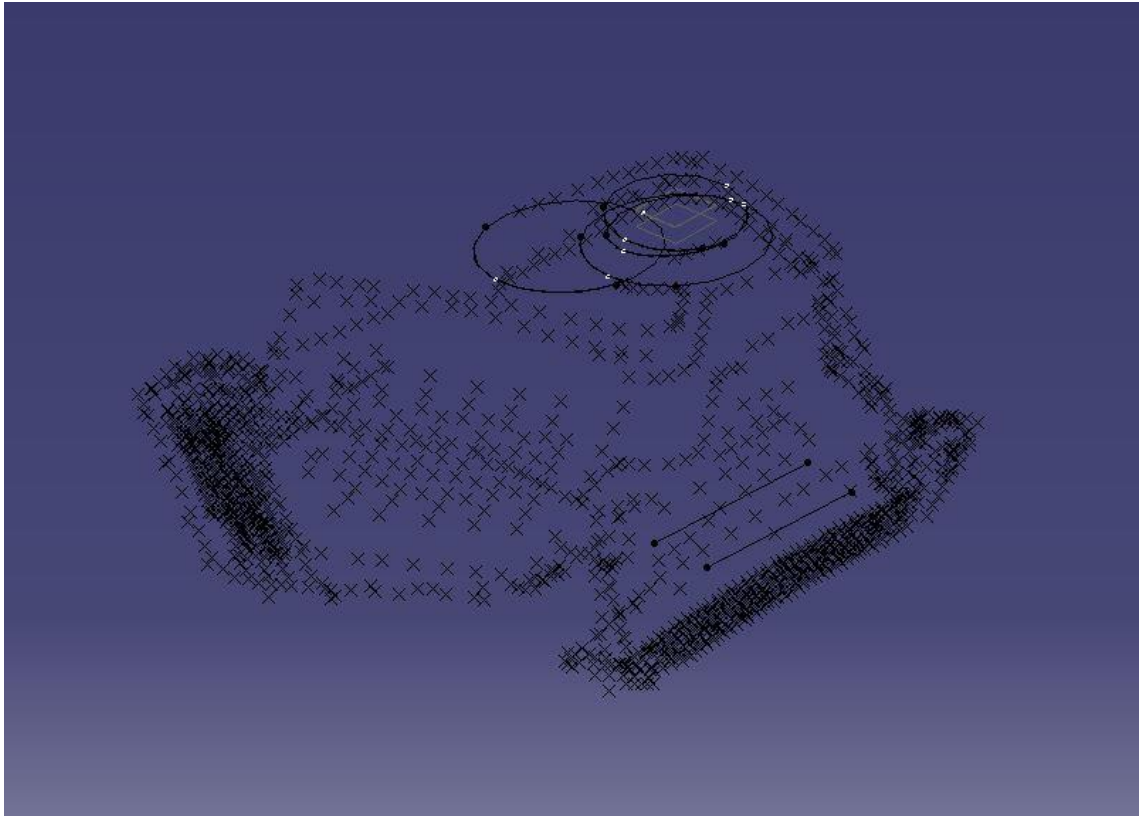
5.2 Mallinnus

Mallinnustyö aloitettiin mallintamalla sovitinkappale (kuva 25).



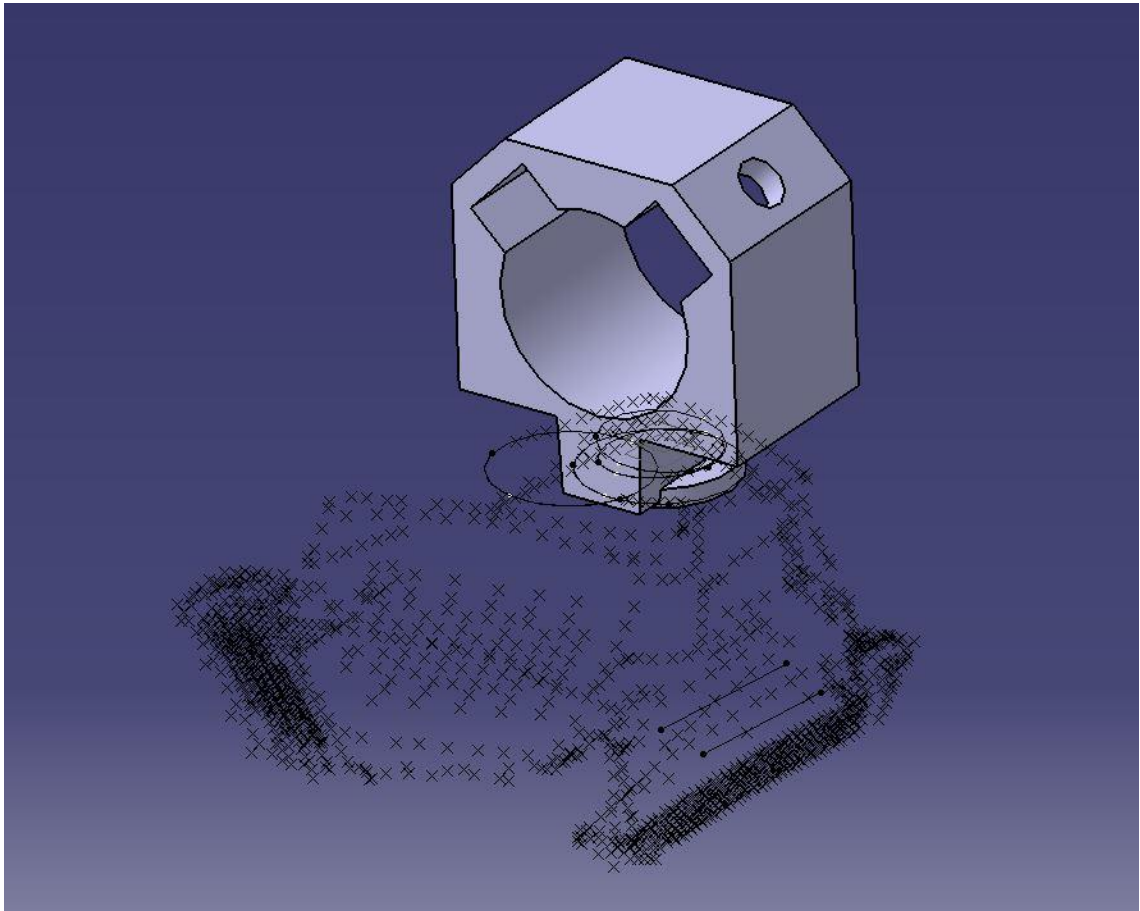
Kuva 25. Mallinnus sovitinkappaleesta

Sovitinkappaleen mallinnuksen valmistuttua koordinaattimittauskoneella saadut mittaus-
tulokset sisältävä IGES-tiedosto avattiin CATIAlla ja tallennettiin omana osanaan (kuva
26).



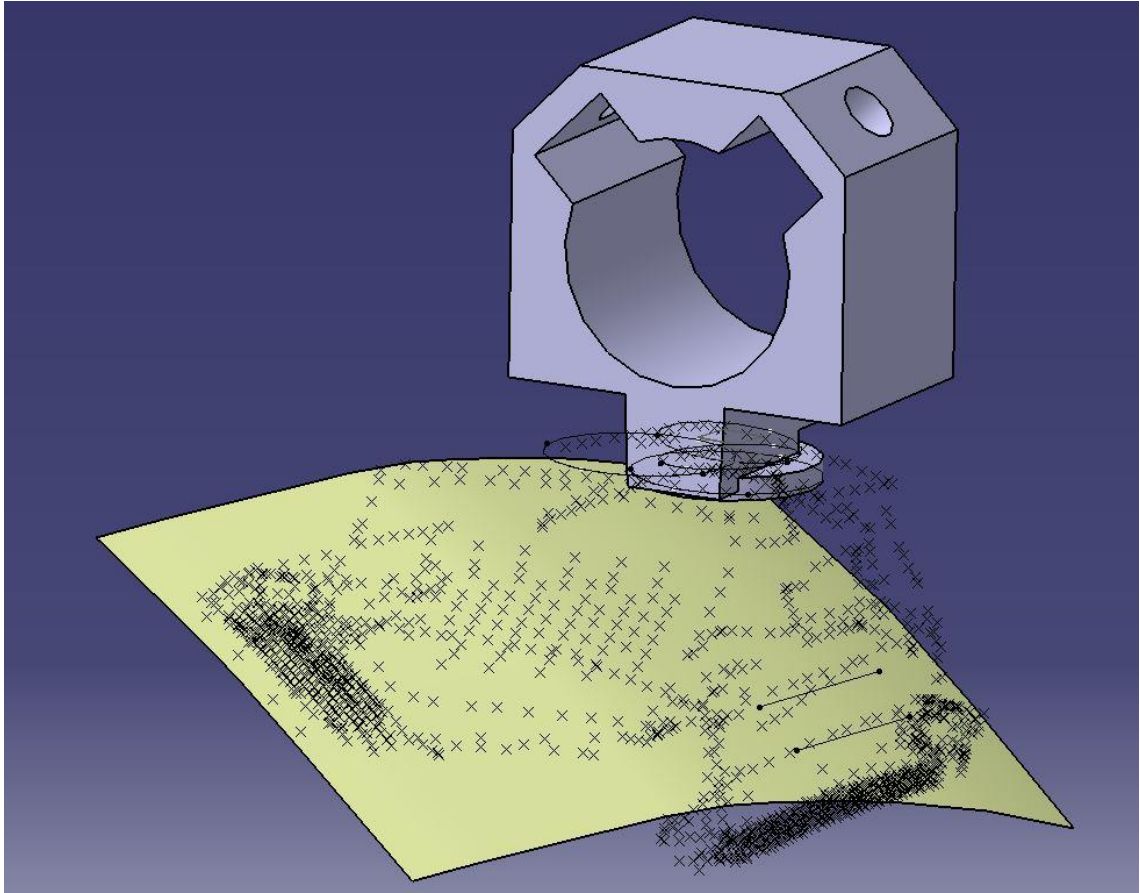
Kuva 26. Koordinaattimittauskoneella mitattu pistejoukko ja luodut piirteet valaisinkiinnikkeestä

Seuraavaksi sovitinkappaleen mallinnuksesta ja valaisinkiinnikkeen pistejoukosta tehtiin kokoonpano (kuva 27). Valaisinkiinnikkeen pistejoukon ja piirteiden perusteella mallinnettiin tilavuuselementti, jonka avulla sovitinkappale saatiin sijoitettua oikealle paikalleen. Seuraavaksi, palokypärään asennetun valaisimen perusteella, arvioitiin valaisinkiinnikkeen ja sovitinkappaleen välinen kulma, joka määrittelee valonsäteen suunnan. Sovitinkappale käännettiin reunaehtojen avulla tähän kulmaan, minkä jälkeen kokoonpano oli valmis.



Kuva 27. Valaisinkiinnikkeen ja sovitinkappaleen kokoonpano

Kokoonpanon valmistuttua aloitettiin uuden osan mallinnus. Aluksi mallinnettiin pistejoukkoa apuna käyttäen pinta, joka mukailee kypärän pinnan muotoja (kuva 28).



Kuva 28. Kypärän muotoja mukaileva pinta

Seuraavaksi pinta pursotettiin, jolloin saatiin tilavuuselementti. Tämän jälkeen kokoonpanon avulla tehtiin useita piirteitä, joista joko pursotettiin lisää tilavuuselementtejä tai leikattiin niistä osia pois. Näin saatiin muotoiltua tilavuusmalli uudesta valaisinkiinnikkeestä. Valaisimesta otettujen mittojen avulla saatiin sitä varten mallinnettavista reiästä ja urista oikean kokoiset.

Mallinnuksesta tulostettiin testikappale, jolla tehdyissä kokeissa ilmeni, että kappale ei täysin sopinut kypärään. Väkänen, joka lukitsee kiinnikkeen kypärään, oli jäänyt hieman lyhyeksi, eikä kappale päässyt lukittumaan paikalleen. Mallinnukseen tehtiin tarvittavat muutokset, minkä jälkeen tulostettiin uusi testikappale. Tämä versio numero kaksi lukittui kypärään, mutta irtosi liian helposti. Tässä vaiheessa huomattiin myös, että kiinnike oli yhdestä kulmasta noin 0,5 mm irti kypärän pinnasta. Mallinnuksen kolmanteen versioon tehtiin muutoksia, jotta kiinnike ei irtoaisi niin helposti ja että se mukailisi kypärän pinnan

muotoja täydellisesti. Kiinnikkeestä mallinnettiin vielä neljäs ja viides versio, joissa paranneltiin kappaleen kevennyksiä, viimeisteltiin muotoilua ja paranneltiin kiinnikkeen lukittumista kypärään (kuva 29).



Kuva 29. Uuden valaisinkiinnikkeen viides mallinnusversio

5.3 Testikappaleiden valmistus

Ensimmäiset uuden valaisinkiinnikkeen testikappaleet tulostettiin kahdesta eri materiaalista, jotka olivat ABS ja PLA. Kappaleet tulostettiin pelastuslaitoksen omalla FDM-menetelmän 3D-tulostimella (kuva 30). Käytävissä ei ollut erillistä tukimateriaalia, joten tulostin rakensi tarvittavat tuet samasta materiaalista kuin itse kappaleenkin. Tuet sai suurimmaksi osaksi irrotettua napsauttamalla ne irti kappaleesta, mutta joissain kohdissa esiintyi tarvetta viimeistelykäsittelylle, joka toteutettiin hiekkapaperilla hiomalla. Ensimmäisen tulosteen materiaalina oli ABS. Kappaleen tukirakennetta poistettaessa osa kappaleesta irtosi tuen mukana. Tarkastelussa todettiin, että kerrokset olivat irronneet toisistaan, minkä seurauksena kappale halkesi. Toinen kappale tulostettiin PLA-materiaalista ilman ongelmia, joten tästä eteenpäin testikappaleiden materiaalina käytettiin PLA:ta.



Kuva 30. Pelastuslaitoksen 3D-tulostin

PLA:sta tulostetulla kappaleella tehtiin kypärään kiinnitystesti, jolla selvitettiin oliko mallinnus onnistunut. Kappale oli hyvin lähellä haluttua, mutta vaati pieniä muutoksia, jotta se sopisi hyvin kypärään ja valaisimen suunta olisi oikea. Kappaleen mallinnukseen tehtiin tarvittavat korjaukset, minkä jälkeen tulostettiin uusi testikappale. Tämä versio numero kaksi sopi hyvin kypärään ja valon suuntakin oli oikea, mutta kiinnike irtosi turhan helposti. Mallinnukseen tehtiin muutoksia ja tulostettiin testikappale kolmannesta versiosta. Testien perusteella kiinnikkeestä mallinnettiin ja tulostettiin vielä neljäs ja viides versio.

Viidennen version testikappaleesta irtosi palanen testeissä, koska kohta johon kohdistuu suuri voima kiinnikettä kiinnitettäessä, oli jostain syystä tulostunut hieman kapeampana kuin mallinnuksessa. Tämän takia kohta oli jäänyt tarkoitettua heikommaksi, mistä seurasi murtuma. Testikappaleita piti siis tulostaa lisää. Testikappaleita tulostettiin kaksi, hyväksi havaitusta PLA-materiaalista sekä kokeilun vuoksi myös ABS-materiaalista. Näihin testikappaleisiin kokeiltiin hieman erilaista tukirakennetta, mutta kappaleista tuli tämän johdosta käyttökelvottomat, koska tukirakenne ei irronnut testauksen kannalta oleellisista kohdista kunnolla.

Täytyi siis tulostaa viidennestä versiosta vielä yhden testikappaleet, kahdesta eri materiaalista (kuva 31). Nämä onnistuivat hyvin, joten niihin tehtiin kierteet koululla kierrettyökalun avulla, valaisimen kiinnityksen testausta varten. Kierteitä tehdessä, sekä valaisimen kiinnitysvaiheessa, ABS-materiaalista valmistettu kappale halkesi useammasta kohdasta. PLA-materiaalista tulostettuun kappaleeseen kierteet sai tehtyä ilman ongelmia, joten kiinnike kiinnitettiin kypärään ja valaisin asennettiin paikalleen. Kiinnike istui hyvin kypärään, eikä aiemmin mainittua murtumisongelmaa esiintynyt. Myös valaisimen suunta oli oikea, joten kappaleen suunnittelun todettiin olevan valmis. Työn tulosten esitelytilaisuutta varten päätettiin tulostaa vielä yksi varakappale, jossa kuitenkin ilmeni murtumisongelmia, joten varakappale piti tulostaa uudestaan. Varakappaleita valmistettiin useampia, joista jokainen käännettiin tulostimeen kytketyn tietokoneen ruudulla hie-man eri asentoon, jolloin kappaleiden tulostussuunta muuttui. Näissä kappaleissa ei aiempaa murtumisongelmaa esiintynyt.



Kuva 31. Vasemmalla ABS- ja oikealla PLA-materiaalista valmistettu testikappale

Yhdessä kappaleista murtumista kyllä esiintyi, mutta eri kohdassa kuin aiemmin. Murtumisen todettiin lähemmässä tarkastelussa johtuvan tulostussuunnasta. Murtuneeseen kohtaan kohdistuu kiinnikettä kiinnitettäessä suuri voima, joka tässä tapauksessa kam-pesi tulostuskerroksia irti toisistaan, ja tästä seurasi murtuma.

Kaikki kappaleet oli tähän asti tulostettu 0,3 mm:n kerrospaksuudella ja 50 mm/s tulostusnopeudella, joten yksi kappale tulostettiin vielä kokeilun vuoksi 40 mm/s tulostusnopeudella, jotta nähtäisiin miten tulostusnopeuden muutos vaikuttaa tulostuslaatuun. Kappaleen laatu parani hieman, toimivuus oli hyvä eikä rikkoutumista esiintynyt.

Työssä tarjoutui tilaisuus valmistaa testikappale myös Metropolian PolyJet -menetelmän 3D-tulostimella. Tulostinta on käytetty pääasiassa hammashoiton liittyvien kappaleiden valmistukseen, joten käytettävissä ollut kova ja hauras materiaali ei ollut paras mahdollinen testikappaletta varten. Valaisinkiinnike tulostettiin 0,032 mm:n tarkkuudella, joten tulostusjälki oli todella tarkka (kuva 32). Tulostimen käyttämä tukimateriaali saatiin pesyä veden ja pesuaineen sekoituksella lähes kokonaan pois. Kappaletta testattiin kypärään, ja se kiinnittyi hyvin paikalleen, mutta siihen tuli kiinnitettäessä halkeama ja pala- nen lohkesi irti.



Kuva 32. Metropolian 3D-tulostimella valmistettu testikappale

5.4 Valmistustapa

Kierteet ruuvia varten, jolla valaisin lukitaan kiinnikkeeseen, pitäisi mahdollisesti koneistaa kappaleeseen jälkikäteen.

Osiassa 3.2 esitetty kuva 10 havainnollistaa ruiskuvalun ja 3D-tulostuksen välisen eron valmistuskustannuksissa kappaletta kohti. Valmistettaessa kumiankkoja, kuten kyseisessä esimerkissä, havaitaan että tuhannen kappaleen valmistus tulee halvemmaksi ruiskuvalumenetelmällä. Jos taas tuotetta valmistetaan vain 500 kappaletta, tulee 3D-tulostus halvemmaksi. Kustannustehokkain valmistustapa määräytyy siis sen mukaan, kuinka monta kappaletta tuotetta valmistetaan.

5.5 Materiaali

Materiaalin valinnassa täytyy ottaa huomioon se, että suunniteltu valaisinkiinnike asennetaan palokypärään, joten sen tulee täyttää EN443:2008-standardin asettamat vaatimukset. Standardi määrittelee vähimmäisvaatimukset pään yläosaa suojaaville palokypärille liekeiltä, kuumuudelta, läpäisyltä ja iskuilta palontorjuntatehtävissä rakennuksissa ja muissa rakenteissa (SFS-EN 443:2008). Materiaalin tulisi olla myös hieman joustava, jotta kiinnike voidaan asentaa kypärään ja myös irrottaa tarvittaessa. Tämä ei onnistu, jos kappale on valmistettu materiaalista, joka tekee siitä niin jäykän, ettei sitä pysty käsivoimin taivuttamaan.

Materiaalia lähdettiin siis etsimään muovien joukosta. Koska työhön kuului 3D-tulostusmateriaalien lämmönkestoon tutustuminen, otettiin tarkasteluun materiaaleja, jotka soveltuvat 3D-tulostukseen SLS- tai FDM-menetelmällä.

6 Tulokset ja päätelmät

6.1 Keskeiset tulokset

Työn tuloksena saatiin 3D-tulostettu testikappale uudesta valaisinkiinnikkeestä, jolla tehtyjen testien perusteella voitiin todeta, että mallinnus oli onnistunut. Kappale oli yksinkertainen, istui tukevasti kypärään ja myötäili hyvin kypärän muotoja. Valaisimen sai vaivattomasti kiinnitettyä valaisinkiinnikkeeseen ja se osoitti oikeaan suuntaan. Käytössä olevan valaisinkiinnikkeen ja siihen kiinnitettävän sovitinkappaleen yhteenlaskettu paino noin 80 g. Uusi valaisinkiinnike painaa noin 45 g, joten painoa saatiin pudotettua lähes puolella.

Kustannustehokkaimman valmistustavan todettiin arvioinnissa riippuvan siitä, kuinka monta kappaletta valaisinkiinnikkeitä olisi tarpeen valmistaa. Mikäli kappaleita valmistettaisiin useita satoja kappaleita, olisi ruiskuvalu todennäköisesti paras valinta. Helsingin pelastuslaitoksen arvioitavaksi jää, että kuinka monta kappaletta valaisinkiinnikkeitä olisi tarpeen hankkia.

3D-tulostusateriaalien lämmönkestoa tarkastellessa huomattiin, että on olemassa korkeitakin lämpötiloja sietäviä tulostukseen soveltuvia muovimateriaaleja, mutta niillä on myös korkea hinta. Esimerkiksi PEEK-materiaalista FDM-menetelmällä tulostetun kappaleen materiaalikustannukset olisivat noin 40 €, kun taas ruiskuvaletun noin 5 €.

6.2 Työn arviointia

Mittaukset piti suorittaa useamman kerran epäonnistumisten takia. Virheet koordinaation määrittelyssä kappaleen kääntämisen jälkeen ja ohjelmiston kaatuilu aiheuttivat tarvetta uusille mittauksille. Ongelmia ilmeni myös, kun kappaleen pitkä ura yritettiin mitata. Uran mittaaminen edellytti istukan kääntämistä 90 asteen kulmaan, minkä jälkeen mitauskone tulkitsi jostain syystä pisteiden sijainnin väärin. Myös mittauskärjen pallon iso koko (3 mm) hankaloitti uran mittaamista, eikä pienempää ollut käytettävissä. Myös ohuempi jatkovarsi olisi ollut tarpeen. Nämä asiat eivät kuitenkaan estäneet työn etene mistä, koska kappaleen muilta pinnoilta saatiin mitattua pisteitä, joiden perusteella ura voitiin mallintaa oikein.

Mallinnusvaiheessa huomattiin, että kappaleen mittauksessa koordinaatiston muodostamista varten tehtyjen, neliöinä näkyvien tasojen välissä on rako. Tarkemman tarkastelun jälkeen selvisi, että kappaleen kääntämisen jälkeen osoitettu taso, on noin 1,9 mm ylempänä kuin ensimmäisenä mitatun, kypärää vasten olevan puolen taso. Tämä tarkoittaa sitä, että jos tarkastellaan jotain mielivaltaisesti valittua pistettä, joka on mitattu kappaleen kääntämisen jälkeen, on piste noin 1,9 mm ylempänä ruudulla kuin mitä se on oikeassa kappaleessa. Tämä virhe oli jäänyt huomaamatta mittauksia suoritettaessa ja täytyi ottaa huomioon mallinnuksessa.

Olemassa olevien kappaleiden mittaamisesta oli suuri apu mallinnuksessa. Mikäli uusi valaisinkiinnike olisi pitänyt suunnitella tyhjästä, olisi työ vienyt paljon enemmän aikaa.

Työssä huomattiin, että 3D-tulostus on todella hyödyllinen apuväline tuotekehityksessä ja se olikin olennainen osa tätä työtä. Pelastuslaitoksen omalla tulostimella saatiin todella kätevästi valmistettua testikappaleita, joiden perusteella tehtiin muutoksia mallinnoiksiin.

Ensimmäisiin tulosteisiin kokeiltiin tulostaa kierteet, mutta testeissä todettiin, että ABS-materiaalista tulostetun kappaleen kierre ei ollut kovin kestävä. PLA-materiaalista tulostetun kappaleen kierre kesti hieman paremmin. Tämän perusteella todettiin, että kierteet kannattaa tehdä jälkikäteen kierretyökälulla. Tässä työssä tulostettujen testikappaleiden perusteella ABS vaikuttaa olevan haastava tulostusmateriaali. Työssä havaittiin myös, että tulostussuunnan valinnalla voidaan vaikuttaa kappaleen kestävyteen.

6.3 Jatkokehitys

Ennen uuden valaisinkiinnikkeen käyttöönottoa pitäisi sille suorittaa kokeita, joilla selvittäisiin, että se varmasti täyttää palokypärän lisävarusteelle asetetut vaatimukset. Valaisinkiinnikkeen materiaalia valittaessa voisi kypärän valmistajan kanssa, joka valmistaa nykyisen valaisinkiinnikkeen, sopia yhteistyöstä. Kiinnikkeeseen kiinnitetyn valaisimen suuntaa ei voi säätää, joten tilanteen vaatiessa se täytyy sammuttaa, jotta vältytään toisen palotaistelijan häikäisyltä. Valaisinkiinnike pitäisikin antaa testattavaksi palotaistelijaille, jotta voidaan varmistua siitä, että kiinnike on varmasti käytännöllinen.

Ennen uuden valaisinkiinnikkeen valmistuksen aloitusta täytyy myös ottaa huomioon se, että mikäli kypärän valmistaja tekisi muutoksia kypärän muotoon ja pelastuslaitos hankkisi nämä uudet kypärät, niin myös kiinnikkeeseen pitäisi tehdä muutoksia. 3D-malli pitäisi päivittää, mikä tarkoittaisi uusia mittauksia. Jos valmistustavaksi olisi valittu ruiskuvalu, täytyisi muotit valmistaa uudestaan. Mikäli kappaleet 3D-tulostettaisiin, riittäisi päivitetyn mallinnuksen syöttäminen tulostimelle.

Yksi mahdollinen jatkokehityssuunta voisi olla, että sovitinkappaleeseen tehdään muutoksia, jotka poistaisivat tarpeen ruuvivarmistukselle ja mahdollistaisivat valaisimen kiinnittämisen sovitinkappaleeseen klipsin kanssa. Myös materiaalin vaihtoa voisi harkita, kappaleen painon pudottamiseksi.

7 Yhteenveto

Insinööriyön aiheena oli Helsingin kaupungin pelastuslaitoksen palotaistelijoiden käyttämään palokypärään kiinnitettävän valaisinkiinnikkeen tuotekehitys. Työssä selvitettiin, voisiko käytössä olevasta valaisinpidikkeestä kehittää uuden version, joka olisi yksinkertainen ja kevyt ja johon valaisimen voisi kiinnittää suoraan, ilman sovitinkappaletta. Arvio kustannustehokkaimmasta valmistustavasta ja tutustuminen 3D-tulostusmateriaalien lämmönkeston kuuluivat myös työhön.

Työ aloitettiin mittaamalla sovitinkappale, valaisin ja valaisinkiinnike. Sovitinkappale ja valaisin mitattiin työntömitalla. Valaisinkiinnikkeen monimutkaisempien muotojen takia se mitattiin koordinaattimittauskoneella.

Seuraavaksi mittaustulosten perusteella aloitettiin uuden valaisinkiinnikkeen mallinnus. Sovitinkappaleen mallinnus ja koordinaattimittauskoneen mittaustuloksina saatu pistejoukko yhdistettiin kokoonpanoksi mallinnusohjelmassa ja määriteltiin reunaehdoilla oikeaan asentoon. Tämän jälkeen uusi valaisinkiinnike mallinnettiin kokoonpanon avulla.

Mallinnuksen valmistuttua valmistettiin testikappale 3D-tulostamalla ja testattiin sen toimivuutta. Kiinnikkeen mallinnukseen tehtiin muutoksia testikappaleilla tehtyjen testien perusteella, minkä jälkeen valmistettiin testikappale uudesta versiosta. Viidennen version testikappaleella tehdyt testit olivat onnistuneita, joten siihen tehtiin kierteet valaisimen kiinnitystä varten ja todettiin uuden valaisinkiinnikkeen mallinnuksen olevan valmis.

Uusi valaisinkiinnike kiinnittyi tukevasti kypärään ja myötäili hyvin kypärän muotoja ja valaisimen sai kiinnitettyä siihen vaivattomasti. Valaisin osoitti myös oikeaan suuntaan. Koska uuteen valaisinkiinnikkeeseen ei tarvita sovitinkappaletta valaisimen kiinnittämiseksi, laski valaisimen kiinnityksestä johtuva painon lisäys kypärään noin puolella.

Kustannustehokkainta valmistustapaa arvioitaessa vertailtiin ruiskuvalua ja 3D-tulostusta. Vertailusta selvisi, että kustannustehokkain valmistustapa riippuu siitä, kuinka monta kappaletta tuotetta valmistetaan.

3D-tulostusmateriaaleja tarkastellessa huomattiin, että on olemassa korkeitakin lämpötiloja sietäviä, tulostukseen soveltuvia muovimateriaaleja mutta niillä on myös korkea hinta.

Lähteet

3D-mallintaminen -kurssi. 2014. Metropolia Ammattikorkeakoulu.

3D-tulostus.fi. 2016. Plastic2Print Polykarbonaatti 1.75mm 500g. Verkkodokumentti. <<http://www.3d-tulostus.fi/175mm-Polykarbonaattikuitunauha-050kg>>. Luettu 20.12.2016.

Aikolon Oy. 2015. PEEK. Verkkodokumentti. <www.aikolon.fi/tuotteet/erikoismuovit/peek>. Luettu 20.12.2016.

Anderson, Chris. 2012. Makers: The New Industrial Revolution. London: Random House Business Books.

Apium Additive Technologies GmbH. 2016. Apium PEEK 450 Natural. Verkkodokumentti. <<http://apiumtec.com/en/filaments/>>. Luettu 20.12.2016.

Bilalis, Nicos. 2000. Computer Aided Design-CAD. INNOREGIO project. Technical University of Crete.

Carnegie Mellon University. 2014. Materials Pricing Guide. Verkkodokumentti. <https://www.cmu.edu/ices/advanced-manufacturing-laboratory/eos-materials-price-list_06-19-14.pdf>. Luettu 20.12.2016.

Core77. 2014. Production Methods: What's the Difference Between Selective Laser Sintering, Direct Metal Laser Sintering, Laser Melting and LaserCusing?. Verkkodokumentti. <<http://www.core77.com/posts/26457/Production-Methods-Whats-the-Difference-Between-Selective-Laser-Sintering-Direct-Metal-Laser-Sintering-Laser-Melting-and-LaserCusing>>. Luettu 19.12.2016.

Cunningham, Patrick. 2015. Direct vs. Feature Based Solid Modeling. Verkkodokumentti. <<https://caei.com/blog/direct-vs-feature-based-solid-modeling>>. Luettu 9.3.2017.

Custompart.net. 2008a. Fused Deposition Modeling (FDM). Verkkodokumentti. <<http://www.custompartnet.com/wu/images/rapid-prototyping/fdm.png>>. Luettu 19.12.2016.

Custompart.net. 2008b. Selective Laser Sintering (SLS). Verkkodokumentti. <<http://www.custompartnet.com/wu/images/rapid-prototyping/sls.png>>. Luettu 19.12.2016.

Engineering Specifier. 2008. CCE's EnSuite Delivers Support for Point Cloud Files. Verkkodokumentti. <<http://www.engineeringspecifier.com/design/cces-ensuite-delivers-support-for-point-cloud-files>>. Luettu 19.12.2016.

EOS. 2013. Product Information PA 2241 FR. Verkkodokumentti. <http://eos.material-datacenter.com/eo/file/show/653/0/Product_information_PA2241FR_2013-09-26_en.pdf>. Luettu 20.12.2016.

EOS. Apium PEI 1000 Black. 2016. Verkkodokumentti. <<https://www.eos.info/material-p>>. Luettu 20.12.2016.

EOS. EOS PEEK HP3 - Polyaryletherketone. 2016. Verkkodokumentti. <<https://www.eos.info/material-p>>. Luettu 20.12.2016.

Eurometalli. 2015. VTT 3D-tulostaa metallia. Eurometalli. 5 - 6 (2015), 28 - 29.

Eurometalli. 2016. Varaosat biteiksi - tarvepohjaisella 3D-valmistuksella kustannustehokkuutta. Eurometalli. 3 (2016), 47.

Graham, Michael. 2015. A Look at 3D Printing as a Production Technology. Verkkodokumentti. <<http://3dprinting.com/3d-printing-use-cases/3d-printing-as-a-production-technology/>>. Luettu 20.12.2016.

Internetix. 2016. 9 Kolmiulotteinen koordinaatisto. Verkkodokumentti. <http://opinnot.internetix.fi/fi/muikku2materiaalit/lukio/maa/maa05/maa5_09_kolmiulotteinen_koordinaatisto.pdf?C:D=1818980>. Luettu 22.10.2016.

Kellner, Thomas. 2015. The FAA Cleared the First 3D Printed Part to Fly in a Commercial Jet Engine from GE. Verkkodokumentti. <http://dsg.files.app.content.prod.s3.amazonaws.com/gereports/wp-content/uploads/2015/04/14193347/tumblr_inline_nmtag9spfU1qzgzzy_540.jpg>. Luettu 17.3.2017.

Lipson, Hod & Kurman, Melba. 2013. Fabricated: The New World of 3D Printing. Indianapolis: John Wiley & Sons, Inc.

miniFactory Oy Ltd. 2015. PVA-tukimateriaali poistaa 3D-tulostuksen rajoitteita. Verkkodokumentti. <<http://www.minifactory.fi/blogi/pva-tukimateriaali-poistaa-3d-tulostuksen-rajoitteita/>>. Luettu 22.12.2016.

miniFactory Oy Ltd. 2017a. ABS 1.75mm tulostusnauha. Verkkodokumentti. <<http://www.minifactory.fi/verkkokauppa/abs-1-75mm-tulostusnauha-2/>>. Luettu 25.2.2017.

miniFactory Oy Ltd. 2017b. PLA 1.75mm tulostusnauha. Verkkodokumentti. <<http://www.minifactory.fi/verkkokauppa/pla-1-75mm-tulostusnauha/>>. Luettu 25.2.2017.

Plastics News. 2016a. Current Resin Pricing. Verkkodokumentti. <<http://www.plasticsnews.com/resin/high-temperature-thermoplastics/current-pricing>>. Luettu 20.12.2016.

Plastics News. 2016b. Current Resin Pricing. Verkkodokumentti. <<http://www.plasticsnews.com/resin/engineering-thermoplastics/current-pricing>>. Luettu 20.12.2016.

Plastics News. 2017. Current Resin Pricing. Verkkodokumentti. <<http://www.plasticsnews.com/resin/commodity-thermoplastics/current-pricing>>. Luettu 25.2.2017.

Proto3000. 2016. The PolyJet 3D Printing Technology Process. Verkkodokumentti. <<http://proto3000.com/assets/uploads/ContentImages/TheObjetPolyjet3DPrintingProcess.jpg>>. Luettu 24.2.2017

RepRap. 2016a. ABS. Verkkodokumentti. <<http://reprap.org/wiki/ABS>>. Luettu 25.2.2017.

RepRap. 2016b. PLA. Verkkodokumentti. <<http://reprap.org/wiki/PLA>>. Luettu 25.2.2017.

SFS-EN 443:2008. Kypärät palontorjuntatehtäviin taloissa ja muissa rakennelmissa. 3.17 lisävaruste.

Smith, Susan. 2009. Beyond Plastics: The Latest in RP&M Material Options, 1 in a Series. Verkkodokumentti. <<http://www.digitaleng.news/de/beyond-plastics-the-latest-in-rp-and-m-material-options-1-in-a-series/>>. Luettu 20.12.2016.

Stratasys. 2017. PolyJet Technology. Verkkodokumentti. <<http://www.stratasys.com/3d-printers/technologies/polyjet-technology>>. Luettu 24.2.2017.

Tikka, Heikki. 2007. Koordinaattimittaus. Tampere: Tampereen Yliopistopaino Oy - Juvenes Print.

VTT. 2016. VTT: 3D-tulostus mahdollistaa uudet innovaatiot elintarvikemarkkinoille. Verkkodokumentti. <<http://www.vtt.fi/medialle/uutiset/vtt-3d-tulostus-mahdollistaa-uudet-innovaatiot-elintarvikemarkkinoille>>. Luettu 19.12.2016.