

Seppo Manninen

3D-tulostuksen soveltaminen yksilöllisesti istuvien moottoripyöräkypärien valmistukseen

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Muotoilija (AMK)

Teollinen muotoilu

Opinnäytetyö

22.11.2013

Tekijä(t) Otsikko Sivumäärä Aika	Seppo Manninen 3D-tulostuksen soveltaminen yksilöllisesti istuvien moottoripyöräkypärien massavalmistuksessa 45 sivua + 1 liite 22.11.2013
Tutkinto	Muotoilija (AMK)
Koulutusohjelma	Teollinen muotoilu
Suuntautumisvaihtoehto	Teollinen muotoilu
Ohjaaja(t)	Lehtori Mika Ihanus Tuntiopettaja Ville-Matti Vilka
<p>Tämä opinnäytetyö tutkii 3D-tulostamisen soveltamismahdollisuuksia moottoripyöräkypärien massavalmistuksessa. Otan selvää, voidaanko 3D-skannaamisen ja 3D-tulostamisen avulla tehdä yksilöllisesti istuvia moottoripyöräkypäriä ja samalla parantaa niiden iskuja vaimentavien sisäkuorien turvallisuusominaisuuksia nykypäivän moottoripyöräkypärien sisäkuoriin verrattuna. Lisäksi otan selvää, mahdollistaako 3D-tulostus moottoripyöräkypärien valmistamisen kevyemmin ja edullisemmin, vähentämällä kuorien valmistusmuottien tarvetta ja niistä aiheutuvia muottikustannuksia. Opinnäytetyöni tarkoituksena ei ole tuottaa 3D-tulostettua prototyyppiä vaan selvittää niitä mahdollisuuksia ja vaatimuksia, joita 3D-tulostuksen soveltaminen kypärätuotantoon edellyttäisi. Tämä opinnäytetyö on siis kartoitusraportti.</p> <p>3d-tulostamista tutkin aihetta käsittelevän kirjallisuuden ja internet-lähteiden kautta. Moottoripyöräkypärien istuvuutta ja käyttäjäkokemuksia kartoitan opinnäytetyön aikana moottoripyöräkypäriä myyvän liikkeen asiakkailla suoritetun käyttäjätutkimuksen avulla. Lisäksi olen haastatellut suomalaista ammattilaiskuljettajaa sekä suomalaisen, kypäriä maahan tuovan yrityksen edustajaa. Nykypäivän moottoripyöräkypärien valmistusmenetelmiin ja valmistusperiaatteisiin olen tustustunut haastatteleamalla amerikkalaisen moottoripyöräkypäriä valmistajan tuotekehityspäällikköä sekä tutkimalla kansainvälisiä testistandardeja. Esittelen opinnäytetyössäni myös pienten toimijoiden turvallisuutta edistäviä innovaatioita moottoripyöräkypäreteollisuudessa, jossa kypäriä on valmistettu lähes samalla tavalla jo yli 50 vuotta.</p> <p>Käyttäjätutkimuksen perusteella samanhintaisten kypärien istuvuudessa on suuria eroja kuten myös kypäriä ostavien asiakkaiden päänmuodoissakin. 3D-tulostusta hyödyntävästä yksilöllisesti istuvasta moottoripyöräkypäriä-konseptista ovat kiinnostuneita niin tavalliset kuluttajat, ammattilaiskuljettajat kuin kypärämaahantuojakin. Kypäriä valmistajalla on puolestaan esittää lukuisia valmistusteknisiä perusteita, jotka asettavat kypäriä-konseptille haasteita. Näistä päällimmäisenä 3D-tulostusteknologian aikainen kehitysvaihe sekä vakiintuneet nykypäivän valmistusmenetelmät ja infrastruktuuri niiden ympärillä.</p> <p>3D-tulostuksen kotikäytön suuren läpimurron esteenä ovat tällä hetkellä vaikeakäyttöiset 3D-mallinnusohjelmat, jotka on suunniteltu teollisuuden ammattilaisille ja vanhanaikaisille valmistusmenetelmille. Tarvitaan helppokäyttöisiä 3d-ohjelmia, jotka on optimoitu 3D-</p>	

tulostuksen tarpeisiin, ja jotka toimivat enemmän kotikäyttäjien luovuuden kuin ja 3D-osaamisen varassa. Muotoilijoiden ei tarvitse odotella 3d-tulostuksen läpimurtoa, sillä heiltä löytyy jo riittävä osaaminen nykyisten 3D-ohjelmien käyttämiseen.

Tutkimuksen perusteella voidaan esittää seuraavaa: 3D-tulostamista hyödyntävien, yksilöllisesti istuvien kypärien massavalmistusta ei ole kaupallisesti perusteltua juuri tällä hetkellä. Suurilla kypärävalmistajilla olisi tietotaito ja parhaat taloudelliset edellytykset lähteä kehittämään 3D-tulostusta osana kypärien massavalmistusta. He ovat kuitenkin panostaneet nykyisiin valmistusmenetelmiin siinä määrin, että tuskin lähtevät eturintamassa tutkimaan 3D-tulostuksen mahdollisuuksia. Pienemmät yritykset, yksittäiset suunnittelijat ja insinöörit ovat tähän mennessä olleet keksimässä uusia turvallisuutta parantavia kypäräinnovaatioita, jotka suuret valmistajat ovat valjastaneet käyttöönsä. Näin käy todennäköisesti myös 3D-tulostusta hyödyntävien kypärien kohdalla.

3D-tulostuksen kehitystä ennustavien skenaarioiden perusteella on odotettavissa, että 10, 20 tai 30 vuoden päästä moottoripyöräkypärätkin valmistetaan suurella todennäköisyydellä kokonaan tulostamalla. Tutkimuksen alusta asti 3D-tulostuksen valjastamisessa moottoripyöräkypärien massavalmistukseen suurimpana epävarmuustekijänä on ollut 3D-tulostuksen teknologiset puutteet tällä hetkellä. Tästä opinnäytetyöstä kuitenkin ilmenee, että 3D-tulostuksen sovittaminen kypärien valmistukseen koostuu tulostusteknologian kehityksen lisäksi monista tekijöistä kuten suunnittelutavoista, rakenteista, ja uudesta toimintaympäristöstä, joita voidaan lähteä kehittämään jo tässä vaiheessa. Aikaisin liikkeelle lähteminen toisaalta nopeuttaa 3D-tulostuksen kehitystä, mutta saattaa myös synnyttää yllättäviä ratkaisuja, joita voidaan mahdollisesti hyödyntää muilla moottoripyöräajovarusteiden tai teollisuuden osa-alueilla.

Avainsanat

3D-tulostus, moottoripyöräkypärä

Author(s) Title	Seppo Manninen Applying 3D printing in manufacturing of custom fit helmets
Number of Pages Date	45 pages + 1 appendix 5 May 2010
Degree	Bachelor of Culture and Arts
Degree Programme	Industrial Design
Specialisation option	Industrial Design
Instructor(s)	Mika Ihanus, Senior Lecturer Ville-Matti Vilkka, Lecturer
<p>The subject of this thesis is Applying 3D-printing Technology In Custom Fit Motorcycle Helmet Manufacturing. The purpose of this thesis is to find out, whether or not 3D printing could be used in mass manufacturing of custom fit motorcycle helmets. The thesis also studies if 3D printing could improve the safety of motorcycle helmets but also reduce the costs and time of the currently expensive and energy consuming helmet manufacturing process.</p> <p>For this thesis, I have studied the fit of current motorcycle helmets by an interview of a professional enduro rider Juha Salminen but also in a user study that was performed on clients of a motorcycle helmets selling store. In the user study, I also introduced the users with an idea of 3D printed custom fit helmet concept, to find out their initial opinions and interest. I also interviewed a Finnish importer of motorcycle helmets about the possibilities of such helmet concept.</p> <p>To study international helmet standards, I gathered information from online articles and web pages of each of the helmet standards. To get a helmet manufacturers perspective on standards and information about current motorcycle helmet manufacturing methods, I interviewed a director of engineering of an American motorcycle helmet company 6D. Information about 3D printing and its possibilities, I have gathered from literature and web articles.</p> <p>The study and interviews reveal, that there indeed is a demand for custom fit helmets, on which people are also willing to pay a little bit of extra. Users, professional rider and the importer all were interested in the concept. However, from the helmet manufacturers side, plenty of challenges for the concept were stated. Main reasons being the current early stage of 3D-printing technology but also the current helmet manufacturing methods and the infrastructure that are well established in the helmet industry.</p> <p>In this thesis I have also presented examples of the most recent helmet safety innovations that have had impact on the whole helmet industry, where helmets have been done more or less the same way for more than 50 years. An individual engineer, a designer and a small company are behind these innovations, on which the bigger helmet companies have taken notice only now. This might be the case as well in applying 3D printing for motorcycle helmet mass-manufacturing.</p>	

From the beginning of this thesis, the main challenge in the way of applying 3D printing in helmet mass-manufacturing process, has been the current state of 3D-printing technology. The materials, at the moment are too expensive and the current 3D-programs are designed mainly to industrial professionals and current manufacturing methods, not for embracing creative design and 3D printing.

The scenarios presented about 3D printing show, that most likely in 10 to 20 or 30 years, most products, including motorcycle helmets are manufactured entirely by 3D printing. This requires leaps and bounds of development in the 3D printing technology. However, this study shows that applying 3D printing in motorcycle helmet manufacturing is about more than just the 3D printing technology. It is about thinking new ways of designing and manufacturing products, finding better constructions that are optimized for their strength, elasticity and for the amount of the material being used. It is also about changing the attitudes. As designers with the know-how of current 3D programs and 3D printing technology, we can start working on those matters right away. We can start finding new constructions and doing test samples with the current 3D programs and 3D printers. This way we not only accelerate the development of 3D printing, but might also find solutions that can possibly be used in motorcycle helmet manufacturing or in any other industry.

Keywords	3D printing, motorcycle helmet
----------	--------------------------------

Sisällys

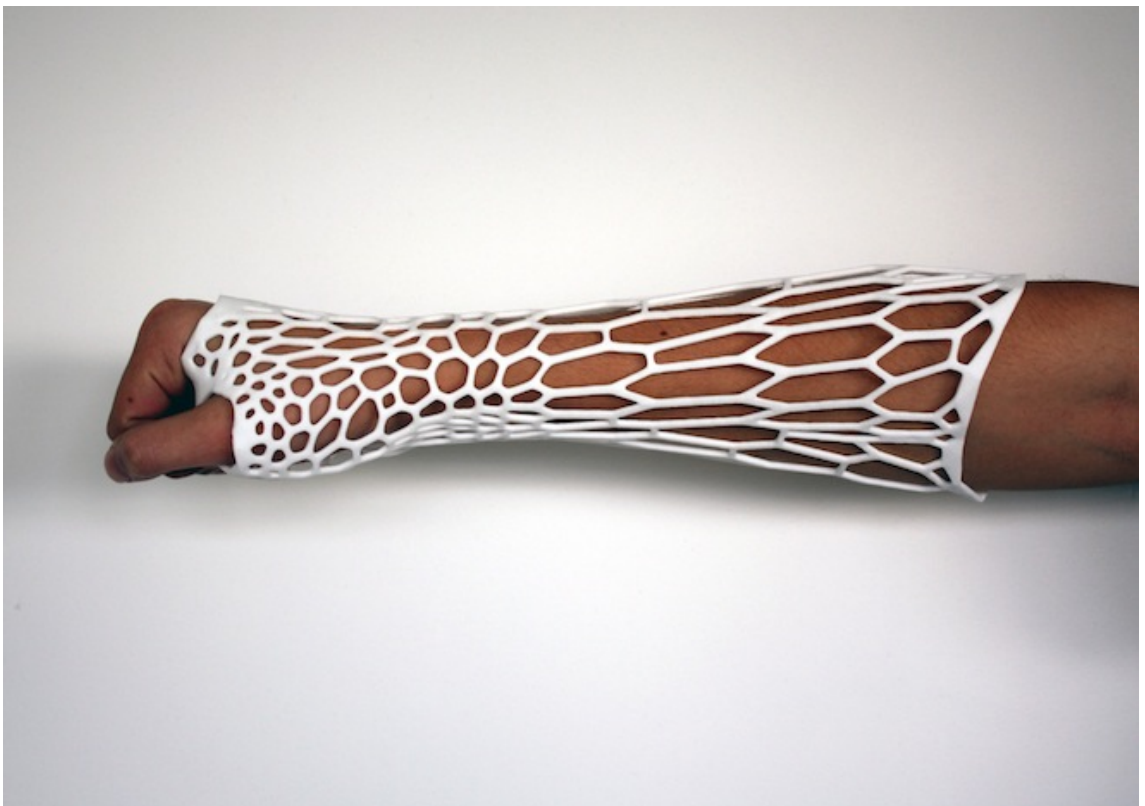
1	JOHDANTO	1
1.1	Tutkimuksen tavoite	2
1.2	Tutkimuksen tarve	2
1.3	Opinnäytetyön rakenne	3
2	KARTOITUKSEN TAUSTAA	3
2.1	Moottoripyöräkypärän käyttö ja ominaisuudet	3
2.2	Kypärästandardit	5
2.3	Kypärän estetiikka	7
2.4	3D-tulostustekniikat	8
2.5	3D-tulostuksen mahdollisuudet	11
2.6	3D-skannaus	14
2.7	Massaräätälöinti	15
3	TUTKIMUSONGELMA	16
3.1	Mistä kypärä puristaa?	16
3.2	Kypärien istuvuustesti	17
3.3	Käyttäjätutkimuksen tulokset	18
3.4	Asiantuntijoiden näkemyksiä	20
3.5	Innovaatioita kypäräteollisuudessa	24
3.5.1	Pahvikypärä	24
3.5.2	MIPS	25
3.5.3	Amerikkalainen kypäränvalmistaja 6D	27
3.6	6D:n kypärien valmistaminen	28
3.7	Muita innovaatioiden lähteitä	33
3.8	Luonto optimoi rakenteet	34
4	3D-TULOSTUKSEN MAHDOLLISUUKSIA MOOTTORIPYÖRÄKYPÄRIEN TUOTANNOSSA	35
4.1	Laitteet ja ohjelmistot	36
4.2	Tulostumateriaalit	36
4.3	3D-tulostus tuotantoprosessin uudistajana	38
5	YHTEENVETO	39
	Lähteet	44

Liitteet

Liite 1. Käyttäjätutkimuksen kyselykaavake

1 JOHDANTO

3D-tulostuksen suuresta vallankumouksesta on kohuttu mediassa jo useamman vuoden ajan. Useimmiten artikkeleissa kuitenkin vain kuvaillaan, kuinka kauppakeskuksissa voidaan asiakkaista tulostaa pienoiskokoisia veistoksia tai kuinka kouluissa oppilaat lataavat 3D-leluhahmoja netistä ja tulostavat niitä. Aikakausilehdissä taas esiintyy säännöllisesti 3D-tulostuksesta kertovia artikkeleita, joissa kerrotaan, kuinka avaruusaluksiin ja lentokoneisiin on 3D-tulostettu muutamia osia tai kuinka ihmiselle ollaan onnistuneesti tulostettu uusi leukaluu. Näiden ääripäiden välistä löytyy harvemmin tapauksia, joissa 3D-tulostimella olisi mullistettu jonkin arkisemman tuotteen valmistustapaa tai ominaisuuksia. Toki niitäkin löytyy. Esimerkki arkisemmasta hyötytuotteesta on 3D-tulostettu tuki, jolla voidaan korvata luunmurtumien yhteydessä käytettävä kipsi. Kuviossa 1. on esitetty uusi-Seelantilaisen muotoiluopiskelija Jake Evillin kehittämä tukikonsepti, joka parantaisi luunmurtumapotilaan elämänlaatua merkittävästi toipumisaikana. Olen kiinnostunut tällaisista sovelluksista. Voitaisiinko esimerkiksi moottoripyöräkypäriä tulostaa 3D-tekniikalla?



Kuvio 1. Uusi-seelantilaisen muotoiluopiskelijan kehittämä kipsin korvaaja (Evill 2013).

Moottoripyöräily on lähellä sydäntäni. Olen ajanut motocrossia aktiivisesti yli 20 vuotta. Lisäksi olen työskennellyt viimeiset kahdeksan vuotta moottoripyöräajovarusteita ja -kypäriä maahantuovassa yrityksessä. Olen myös suunnitellut komponentteja ja grafiikoita katu- ja offroad-kypäriin, joita on valmistettu maahantuontiyrityksen omille merkeille.

1.1 Tutkimuksen tavoite

Tarkoitukseni on selvittää, voidaanko 3D-tulostuksen avulla tuottaa turvallisempia, käyttäjäystävällisempiä ja taloudellisemmin valmistettuja moottoripyöräkypäriä:

- 1) Mitkä moottoripyöräkypärän ominaisuudet ovat asiakaskokemuksen kannalta olennaisia ja mihin yksityiskohtiin tulisi kypärän muotoilussa kiinnittää huomiota, jotta asiakas kokisi sen istuvan juuri hänen päähänsä täydellisesti?
- 2) Voidaanko 3D-tulostuksen avulla parantaa moottoripyöräkypärien istuvuutta ja turvallisuutta? Onko 3D-tulostusteknologia riittävän pitkällä?
- 3) Voidaanko 3D-tulostuksen avulla tuottaa massaräätälöityjä moottoripyöräkypäriä entistä edullisemmin?

Opinnäytetyöni tarkoituksena ei ole tuottaa 3D-tekniikalla valmistettua prototyyppiä vaan selvittää niitä mahdollisuuksia ja vaatimuksia, joita 3D-tulostuksen soveltaminen kypärätuotantoon edellyttäisi. Tämä opinnäytetyö on siis kartoitusraportti.

1.2 Tutkimuksen tarve

Mikäli 3D-tulostamista voidaan perustellusti soveltaa kypärän iskunvaimentavan sisuksen massavalmistukseen, se on merkittävä askel 3D-tulostusteknologialle, mutta myös moottopyöräkypäräteollisuudelle, jossa kypärän valmistusmenetelmissä ei ole tapahtunut suuria muutoksia yli 50 vuoteen lukuunottamatta EPS-kuoren eri alueiden optimointia massan tiiviyttä muuntelemalla. Moottoripyöräkypärän 3D-tulostusmenetelmiä ja ratkaisuja voisi toki soveltaa myös muunlaisten kypärien kuten pyöräilykypärien valmistamisessa.

1.3 Opinnäytetyön rakenne

Esittelen työni aluksi sen keskeiset käsitteet ja aiemmat tutkimukset, joihin se pohjautuu: mitä tarkoitetaan moottoripyöräkypärällä ja millaisia ovat viralliset kypärästandardit; mitä on 3D-tulostus ja mitä mahdollisuuksia se tarjoaa; mitä on 3D-skannaus ja miten sitä voidaan soveltaa päänmuotojen mittaamiseen; mitä on massaräätälöinti ja millaisia hyötyjä se tarjoaa.

Kun valitaan moottoripyöräkypärää, yksi merkittävimmistä tekijöistä on kypärän oikea istuvuus. Kypärien istuvuus vaihtelee valmistajien mukaan mutta myös maanosien mukaan. Aasialaisille eivät sovi samanmuotoiset kypärät kuin eurooppalaisille. Olen kartoittanut moottoripyöräkypärien yleisimpiä istuvuusongelmia haastattelujen ja käyttäjä-tutkimuksen avulla. Samalla on selvitetty, millaiset ominaisuudet ovat käyttäjän kannalta keskeisiä heidän arvioidessaan kypärän istuvuutta ja käyttömukavuutta.

Tavallisten harrastajakäyttäjien lisäksi olen haastatellut enduro-moottoripyöräilyn ammattilaista ja 13-kertaista maailmanmestaria hänen kypäräkokemuksistaan. Olen myös haastatellut maahantuojan tuotepäällikköä, joka vastaa yrityksen Suomeen ja Ruotsiin maahantuotavien moottoripyöräkypärien ostoista. Haastattelun teemoina olivat kypärien turvallisuuskriteerit, hinnoittelu, kustannusrakenne ja volyymit. Lisäksi olen keskustellut amerikkalaisen kypärävalmistajan asiantuntijan kanssa heidän valmistusteknologiastaan sekä siitä, miten 3D-tulostusta voitaisiin soveltaa kypärätuotantoon, jossa pyritään massaräätälöinnin avulla tekemään entistä istuvampia ja turvallisempia moottoripyöräkypäriä.

2 KARTOITUKSEN TAUSTAA

2.1 Moottoripyöräkypärän käyttö ja ominaisuudet

Moottoripyöräkypäriä käytetään sekä harraste- että kilpailukäytössä. Harrastekäyttö on yleensä tavallista katumoottoripyöräilyä. Kilpailulajeja ovat asfalttiradoilla ajettavat road racing ja supermoto sekä kiihdytyskilpailut. Maastossa ajettavia kilpalajeja ovat motocross, enduro ja trial. Lajinopeudet vaihtelevat trialin kävelyvauhdista road racingin yli 300 km/h. Näin ollen myös kypärien ajo- ja suojausominaisuudet vaihtelevat suuresti. Moottoripyöräkypäriä on neljää eri tyyppiä: umpikypärät, avattavat kypärät, avokypärät ja offroad-kypärät.

1. Umpikypärät ovat perinteisiä, koko päätä ja kasvoja suojaavia kypäriä, joita käytetään yleisimmin katumoottoripyöräilyssä. Ne on aina varustettu avattavalla visiirillä.

2. Avattavat kypärät näyttävät ensisilmäykseltä samalta kuin umpikypärät, mutta kypärän visiiri ja leukasuoja muodostavat erillisen osan, joka on saranoitu kypärän kuoriosaan. Visiiristä ja leukasuojasta koostuva osa pidetään lukittuna alhaalla ajon aikana ja mutta se voidaan avata, kun moottoripyörällä ei ajeta. Avattavat kypärät ovat yleisesti käytössä mm. moottoripyöräpoliiseilla.

3. Avokypärät voivat olla täysin avonaisia eli ns. mopokypäriä, joita ei ole varustettu leukasuojalla, visiirillä tai lipalla. Avokypäriä ovat myös avovisiirillä varustetut ns. skootterikypärät.

4. Offroad-kypärissä on nykypäivänä lähes poikkeuksetta kiinteä leukasuoja aivan kuten umpikypärissäkin, mutta ei kypärään kiinnitettyä visiiriä. Offroad-kypärissä silmien suojana käytetään erillisiä suojalaseja. Offroad-kypärät on varustettu myös irroitettavalla lipalla.

Moottoripyöräkypäryypit on esitetty kuviossa 2. Vasemmalta: umpikypäri, avattava kypäri, visiirillä varustettu avokypäri sekä offroad-kypäri.



Moottoripyöräkypärien suojaus perustuu yleensä kahteen erilaiseen kuoreen, joilla kummallakin on oma tehtävänsä. Päällimmäisenä on kova n. 2 mm paksuinen ulkokuori, jonka tarkoitus on ehkäistä ulkoisia teräviä kappaleita läpäisemästä kuorta ja osumasta kuljettajaa päähän. Ulkokuori myös jakaa ulkoisen iskun laajemmalle alueelle kuin pelkkään osumakohtaan. Kovan ulkokuoren alta löytyy pehmeämpi kuori, joka on valmistettu EPS-vaahdosta eli styroksista. EPS-kuoren tarkoitus on joustaa iskuilanteessa, imeä itseensä ja jakaa laajemmalle alueelle ulkopuolelta tulevaa iskuenergiaa ja vai-

mentaa aivojen äkkipysähtymistä onnettomuustilanteissa.

2.2 Kypärästandardit

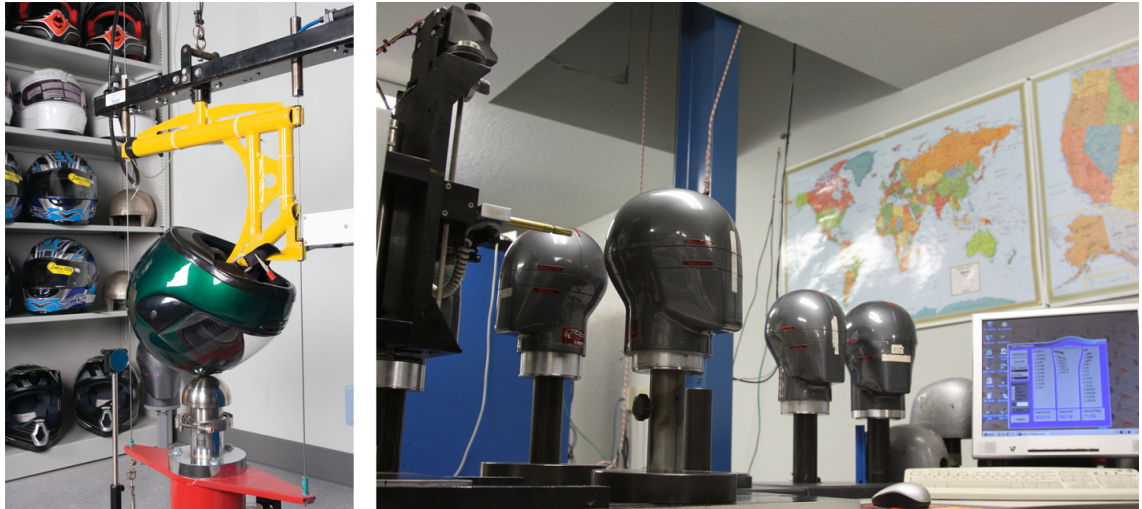
Kypärien testausstandardeja on useita, joista yleisimmin käytössä olevat ovat ECE22.05 (Economic Council for Europe), DOT (Department Of Transportation) ja Snell (Snell Memorial Foundation). ECE22:05 on Euroopassa käytössä oleva standardi, joka on määritelty ensimmäisen kerran vuonna 1958 YK:n alaisessa sopimuksessa. Yhdysvalloissa on käytössä valtion ylläpitämä DOT-sertifikaatti sekä yksityinen vuonna 1957 perustettu voittoa-tavoittelemattoman Snell-yhdistyksen. (Ilminen 2013.)

ECE-sertifikaatti on pakollinen kaikissa Euroopassa myytävissä kypärissä ja DOT-sertifikaatti kaikissa Yhdysvalloissa myytävissä kypärissä. Snell on vapaaehtoinen sertifikaatti, mutta joissain tapauksissa eri maiden moottoriurheilukilpailuja organisoivat järjestöt saattavat edellyttää sitä kypärissä, joita käytetään heidän kilpailuissaan (Ilminen 2013).

Kaikissa standardeissa on samoja testimenetelmiä. ECE- ja DOT-standardien testimenetelmät mukailevat toisiaan monilta osin, mutta Snell-testit vievät testimenetelmät ja vaatimukset hieman pidemmälle. Snell myös auttaa kypärävalmistajia kypärien kehittämisessä tarjoten heille mahdollisuuden prototyyppien testaamiseen Snellin testilaboratoriossa (Snell Foundation 2013). Kaikilla kolmella testistandardilla suoritetaan kypärän iskuvaimennustesti, ulkoisen kappaleen läpäisytesti sekä hihnakiinnityksen rasiustesti. Lisäksi silmäaukon näkyvyysalueeksi leveyssuunnassa on kaikilla standardeilla määritelty 105° (Ilminen 2013).

Kaikilla standardeilla kypärän iskuvaimennuksen mittaus toteutetaan suunnilleen samalla tavalla. Kiihdytyssensorilla varustettu testipää sijoitetaan kypärän sisään ja kypärä pudotetaan tietystä korkeudesta kuori edellä sekä tasaiselle että kuperalle alaiselle. Näiden lisäksi Snell käyttää myös kolmea muuta alasinmuotoa, joihin kypärä pudotetaan useammasta pudotuskorkeudesta. Kaikissa testeissä mitataan pään pysähtymisvoimaa G-voimissa tai tuuma/sekunti x sekunti -yksiköissä. ECE22.05-testissä G-voimien piikki ei saa ylittää 275 G:tä. Snellillä vastaava arvo on 300 G:tä ja DOT:llä 400 G. Lisäksi testissä mitataan testipään EPS-sisustaan jättämät painaumat. (Ilminen 2013.) Kullakin standardilla on omanlaiset testipäänsä, joiden painossa ja muodossa on eroja. Lisäksi pudotustavoissa on eroja. DOT ja Snell-testissä kypärän pudotetaan pystyraidetta pitkin kun ECE22.05 testissä kypärä pudotetaan vapaapudo-

tuksena, jolloin iskun osumakohta on hieman satunnaisempi. (webbikeworld.com 2010). Kuviossa 2. on esitetty kypärän iskunvaimennusta mittaava pudotustesti sekä erimuotoiset testipäät, joiden sisällä on iskunvaimennusta mittaavat kiihdytysensorit.



Kuvio 2. Kypäränpudotustesti ja testipäät (Snell 2013)

Ulkoisen kappaleen läpäisytestissä tasaiselle alustalle asetetun kypärän päälle pudotetaan tietyistä korkeudesta teräväpäinen metallikappale. Mikäli kappale läpäisee sekä kypärän ulko- että sisäkuoren ja osuu pääkappaleeseen, kypärä hylätään. DOT-standardissa läpäisytesti kohdistuu vain tietylle alueelle kypärän päälle. Snell-testissä puolestaan kypärän asentoa vaihdellaan, jolloin läpäisykohta vaihtelee. ECE22.05 ei suorita läpäisytestiä ollenkaan. (Ilminen 2013.)

ECE22.05 testissä mitataan myös kypärän kuoren muodonmuutosta, kun siihen kohdistetaan painetta hitaasti lisäten. Snellillä puolestaan testataan umpikypärien leukaosan iskunkestävyyttä pudottamalla 5 kg paino tietyistä korkeudesta keskelle leukaosaa. Yli 60 mm:n painauma leukaosassa johtaa kypärän hylkäämisen. Lisäksi Snell testaa myös kypärän ulkokuoren hankaamiskestävyyttä pudottamalla kypärän niin että se viistää karkeaa pintaa. (Ilminen 2013.)

Snell testaa ainoana standardina myös kypärän päässäpysymistä kiinnittämällä n. metrin pituisen tangon tai vaijerin välityksellä kypärän pänaukon takareunaan painon, joka pudotessaan yrittää irrottaa kypärän paikalleen kiinnitetystä testipäädästä. Testi toistetaan asettamalla paino myös kypärän etuosaan. Mikäli kypärä putoaa testipäädästä, kypärä hylätään. (Snell 2013.)

Kypärän kiinnityshihnan rasiustesti eroaa kaikilla standardeilla hieman, vaikka peruseriaate onkin sama. DOT:lla ja Snellillä suljetusta hihnasta vedetään aluksi pienellä paineella (DOT 23 kg), jonka jälkeen vetovoima kasvatetaan nopeasti (n. DOT 130 kiloon). ECE22.05 testissä suljettuun hihnaan kiinnitetty 10 kg paino pudotetaan 75 cm:n korkeudelta. Kaikissa testeissä mitataan hihnan venymää, joka ei saa ylittää 30–35 mm. (Ilminen 2013.)

2.3 Kypärän estetiikka

Moottoripyöräkypärien ulkokuoren muotoilu määrittelee 80-95-prosenttisesti kypärän turvallisuus lajin, jossa kypärää käytetään. Nopeissa lajeissa aerodynaamisuuella on painoarvoa n. 20 %, mutta offroad-lajeissa ei juuri lainkaan. Tästä huolimatta kuoren pyöreät muodot ovat ulkokuoren muotoilussa merkittäviä turvallisuutta parantavia tekijöitä, sillä kaatumistilanteessa maata pitkin liukuessaan kypärä ei takerru maahan tai siellä oleviin esteisiin. Monet edullisempia kypäriä myyvät kypärävalmistajat muotoilevat ulkokuoriinsa voimakkaita, teräviä, "spoilerimaisia" muotoja, jotka antavat kypärälle ehkä hienomman ja aggressiivisemmän ulkonäön. Kuluttajat myös ostavat tällaisia kypäriä, mutta todellisuudessa terävät muodot lisäävät kypärän äkillisen kiinnijäämisen riskiä kaatumistilanteissa. Kuoressa ei voi myöskään olla silmäaukon ja päänaukon lisäksi isoja reikiä, joista terävät kappaleet voisivat osua päähän. Lisäksi kypärän muotoilu määrittelee vahvasti kuoren sisällä olevan iskuja vaimentavan EPS-kuoren paksuus, jonka tulisi olla riittävän suuri iskujen vaimentamiseksi tehokkaasti.

Esteettiset tekijät moottoripyöräkypärien kuorien muotoilussa rajoittuvatkin lähinnä silmäaukon, leukasuojan ja ilmastointireikien leikkausten pieniin nyansseihin. Kuvio 3. osoittaa hyvin kuinka kypärien ulkomuodon estetiikka perustuu lähinnä kuoren grafiikkoihin ja väreihin, joita voidaan jo nykyisellä valmistustekniikalla varioida lähes rajattomasti.

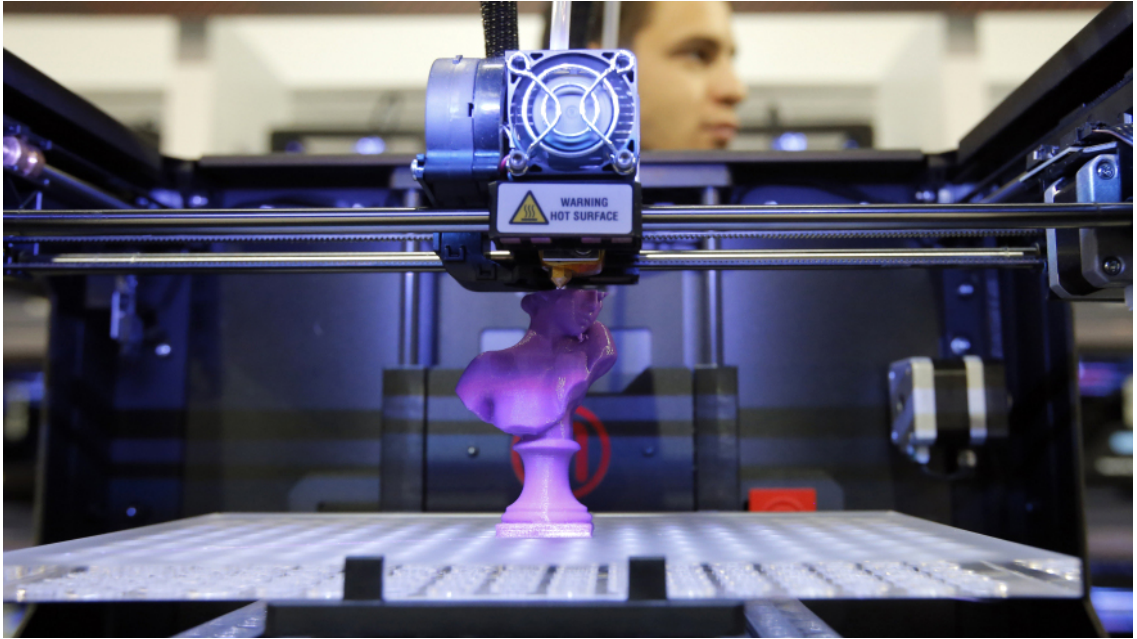


Kuvio 3. Sama kypärämalli, kolme erilaista grafiikkaa. (All Right Europe Oy 2013)

Näistä reunaehdoista johtuen 3D-tulostuksella ei mullisteta merkittävästi kypärän esteettistä muotoilua, mutta valmistusmenetelmiä ja turvallisuusominaisuuksia sillä pystytään kehittämään monin tavoin.

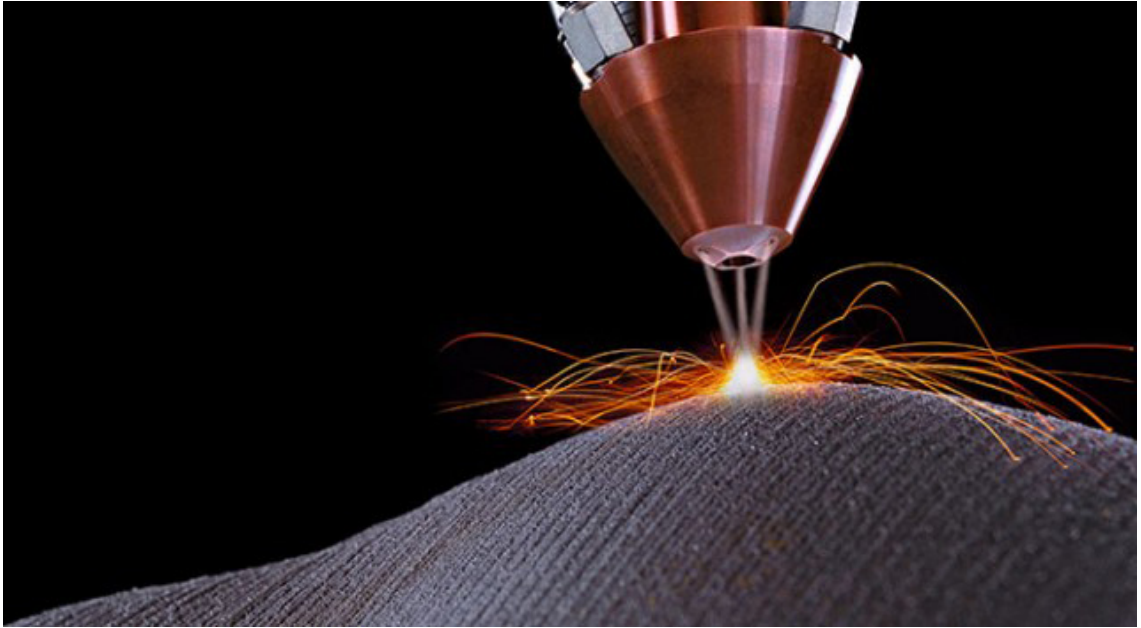
2.4 3D-tulostus

Ensimmäiset 3D-tulostimet ilmestyivät markkinoille jo 1980-luvulla ja erilaisia 3D-tulostamistapoja on kehitetty sittemmin lukuisia. Kaikessa 3D-tulostamisessa pääperiaate on kuitenkin sama: 3D-tulostin lukee tietokoneella mallinnettua 3D-tiedostoa ja pilkkoo sen ohuiksi, useimmiten päällekkäisiksi ja vaakasuuntaisiksi kerroksiksi. Tämän jälkeen 3D-tulostimen leveys-, pituus- ja korkeusuunnassa liikkuva tulostinpää alkaa pursottaa tai puhaltaa tulostinalustalle sulaa, nestemäistä tai jauhemaista materiaalia kerroksittain 3D-tiedoston määräämässä muodossa. Kun ensimmäinen kerros jähmettyy – yleensä muutamassa sekunnissa – tulostin tekee seuraavan kerroksen tämän päälle. Lopulta jähmettyneistä kerroksista muodostuu fyysinen kolmiulotteinen kappale.



Kuvio 4. Muovia pursottava 3D-tulostin (AP photo / Jae C. Hong).

Materiaalia puhaltavissa tekniikoissa, tulostuspäästä tuleva laseri sintraa eli sulattaa jauheen kiinteään muotoon – oli se sitten muovia, metallia tms. Tulostinmateriaalina voidaan käyttää muovia, metallia, betonia, lasia, keraamista massaa, hiekkaa, ruokaa, biokudosta ja melkein mitä hyvänsä materiaalia, joka voidaan muuttaa jauhemuotoon ja sitoa yhteen laserilla tai jollakin sidosaineella (Lipson & Kurman 2013, 80). Kuviossa 5. tulostinpään sivuista tulee hienoa metallipölyä, jonka keskellä oleva laseri sulattaa kiinteäksi kerrokseksi kappaaleen pintaan. Toistaiseksi yleisimmin tulostettavia materiaaleja ovat kuitenkin muovi, metalli ja betoni.



Kuvio 5. Metallin sintrausta (Hevitt 2012).

3D-tulostusta voidaan tehdä myös laminoimalla. Laminointitekniikassa tulostusalustalle asetetaan ohut muovikalvo, joka leikataan kappaleen muotoon laserilla aina ennen seuraavan kalvon asettamista.

Monimateriaalitulostuksessa on suurin potentiaali 3D-tulostusteknologian kehityksessä, mutta tulostustekniikkana se on vielä alkutekijöissään. (Lipson & Kurman 2013, 12, 68-70.) Tällä hetkellä monimateriaalitulostusta voidaan tehdä vain yhdellä tekniikalla. Siinä tulostinpäässä on useampia suuttimia, joista jokaisesta tulee eri materiaalia. Tulostinpäässä suuttimista tuleva nestemäinen valoherkkä muoviaine asetetaan ohuina kerroksina tulostinalustalle ja kukin kerros kovetetaan UV-valolla aina ennen seuraavaa kerrosta. (Stratasys 2013.)



Kuvio 6. Monimateriaalitulostimella kokonaan tulostettu leikkiauton runko.

Tämän tekniikan etuja ovat nopeus, erittäin korkearesoluutioinen, eli tarkka ja sileä tulostusjälki sekä mahdollisuus käyttää useampia materiaaleja yhdessä tulostuksessa. (Stratasys 2013.) Tekniikan huonot puolet liittyvät materiaaliin, jonka tulee kovettuakseen olla valoherkkää erikoismateriaalia. Maailman ainoata monimateriaalitulostinta valmistavan Stratasyn valikoimasta löytyy yli sata erilaista materiaalivaihtoehtoa. Ne ovat kuitenkin huomattavasti kalliimpia kuin muut tulostinmateriaalit.

2.5 3D-tulostuksen mahdollisuudet

3D-tulostamista on jo pitkään käytetty massatuotannon tuotekehitysvaiheessa prototyyppien valmistamiseen nopeasti ja kustannustehokkaasti. Viime vuosina 3D-tulostaminen on kuitenkin siirtynyt uuteen vaiheeseen, jossa 3D-tulostuksen hyödyntämistä lopullisten tuotteiden valmistamisessa on ruvettu kehittämään toden teolla.

Tuotantotekniikkana 3D-tulostus avaa täysin uusia sovellusmahdollisuuksia, sillä sen avulla voidaan yhdistää virtuaalinen ja fyysinen maailma tehokkaammin kuin koskaan aikaisemmin. Toisaalta se myös yhdistää käsityöläistuotannon ja massatuotannon, kun

yksilöllisiä tuotteita voidaan tuottaa teollisen tehokkaasti ilman muotteja ja kokoamislinjoja. (Lipson & Kurman, 14.)

3D-tulostamisen hyödyt perinteiseen massavalmistukseen verrattuna ovat pienemmät aloituskustannukset, vapautuminen muottiteknisistä rajoitteista sekä logistiikan tarpeen vähentäminen.

Lipson Hodin ja Melba Burmanin teoksessa *Fabricated – The New World Of 3D Printing* on määritelty 3D-tulostuksen 10 periaatetta:

Periaate 1: Monimutkaisen valmistaminen on ilmaista

Perinteisiin valmistusmenetelmiin pätee sääntö: mitä monimutkaisempi, sen kalliimpi. 3D-tulostimilla valmistettaessa monimutkaisen esineen tai rakenteen tekeminen maksaa saman verran kuin yksinkertaisen esineen. Monimutkaisen tai koristeellisen esineen tulostaminen ei vaadi enempää aikaa, taitoa tai kustannuksia kuin yksinkertaisen kuution tulostaminen. Tämä tulee mullistamaan valmistuksen hinnoitteluperiaatteita. (Hod & Burman 2013, 20-23.)

Periaate 2: Vaihtelu on ilmaista

3D-tulostin voi tehdä mitä erilaisimpia muotoja joka tulostuskerralla. Perinteiset massatuotannon koneet eivät ole yhtä monipuolisia. Niillä voidaan tehdä erilaisia muotoja vain rajoitetusti. 3D-tulostaminen karsii kiinteitä kustannuksia, joita syntyy koneistajien kouluttamisesta sekä työkalujen muokkaamisesta ja valmistamisesta. 3D-tulostin tarvitsee vain digitaalisen ohjepiirroksen (3D-tiedoston) ja raaka-ainetta. (Hod & Burman 2013, 20-23.)

Periaate 3: Kokoamista ei tarvita

3D-tulostimella voidaan tehdä valmiiksi yhteenliitettyjä osia, kun taas massavalmistuksen selkärankana toimivat kokoonpanolinjat. Nykypäivän tehtaissa koneet painavat isoina sarjoina osia, jotka robotit tai kokoonpanotyöläiset liittävät myöhemmin yhteen joskus jopa aivan toisella puolella maailmaa. Mitä enemmän osia tuote sisältää, sitä enemmän aikaa ja rahaa kuluu. Koska 3D-tulostin tekee kaiken päällekkäisinä kerroksina, pystyy sillä valmistamaan vaikkapa ulko-oven, jossa on lukot ja saranat valmiina paikallaan. Tämä lyhentää tuotantoketjuja, säästää työtunteja ja vähentää kuljettamista. Lyhyemmät tuotantoketjut saastuttavat vähemmän. (Hod & Burman 2013, 20-23.)

Periaate 4: Ei tuotannon läpimenoaikaa

3D-tulostimella pystytään valmistamaan tuotteita juuri silloin kun niitä tarvitaan, ja vieläpä paikallisesti, mikä vähentää yritysten varastointitarvetta. Yritykset voivat tehdä kustomoituja tuotteita asiakkaiden tarpeiden ja sisääntulevien asiakastilausten mukaan. Pitkän matkan rahtikuljetusten kustannukset vähenevät, jos tuotteita voidaan tehdä silloin kun niitä tarvitaan ja siellä missä niitä tarvitaan. (Hod & Burman 2013, 20-23.)

Periaate 5. Rajaton suunnitteluympäristö

Perinteiset valmistusteknologiat ja käsityöläiset voivat tehdä vain rajallisen määrän muotoja. Nykyisin käytössämme olevaa muotovalikoimaa määrittävät käytössämme olevat työkalut. Esim. puusorvilla voidaan tehdä vain pyöreitä muotoja, jyrsimellä voidaan tehdä muotoja vain siellä, mihin jyrsimellä pääsee. Muottitekniikalla tehdään muotteja, joihin materiaali kaadetaan tai ruiskutetaan ja joista tuote pitää vielä saada ulos. 3D-tulostin poistaa nämä rajoitteet ja avaa

runsaasti uusia suunnittelu ympäristöjä. 3D-tulostimella voidaan tehdä muotoja, jotka tähän mennessä ovat olleet mahdollisia vain luonnossa.

Periaate 6. Valmistamistaitoja ei tarvita

Käsityöläiset harjoittelevat oppilaina vuosia saadakseen tarvittavat taidot. Massatuotanto ja tietokoneavusteinen valmistaminen vähentävät valmistustaitojen tarvetta. Perinteiset massatuotantokoneet vaativat osaavia henkilöitä säätämään niitä. Tehtäessä samanlaista tuotetta 3D-tulostin vaatii vähemmän taitoa kuin ruiskumuottikone. Asiantuntijoiden tarpeen väheneminen muuttaa liiketoimintamalleja ja mahdollistaa tuotteiden valmistamisen myös syrjäseuduilla ja ääriolosuhteissa paikallisten ihmisten omana työnä. (Hod & Burman 2013, 20-23.)

Periaate 7: Kompaktia ja kannettavaa valmistamista

Tuotantokapasiteetti suhteessa tarvittavaan tuotantotilaan on 3D-tulostimella huomattavasti tehokkaampi kuin perinteisillä tuotantokoneilla. Esimerkiksi ruiskumuottikoneella tehtävien esineiden muotit ovat merkittävästi isompia kuin tuote, joka muotilla valmistetaan. 3D-tulostimella voidaan puolestaan tehdä tuotteita, jotka ovat yhtä isoja kuin tulostimen tulostinalusta. Mikäli 3D-tulostin on asennettu niin että sen tulostinpää pääsee liikkumaan rajattomasti, voidaan sillä valmistaa esineitä, jotka ovat isompia kuin itse tulostin. Koska 3D-tulostimien tuotantokapasiteetti neliometriä kohden on niin hyvä, soveltuvat ne erinomaisesti toimisto- ja kotikäyttöön. (Hod & Burman 2013, 20-23.)

Periaate 8: Vähemmän hukkamateriaalia tuotetta kohti

Metallia tulostavat 3D-tulostimet synnyttävät hukkamateriaalia vähemmän kuin perinteiset metallintyöstömenetelmät, joissa tehdään lattialle päätyy peräti 90% alkuperäisestä metallimäärästä. Tulostusmateriaalien kehittyessä nettopainovalmistaminen yleistyy ja tuotteiden valmistamisesta tulee ekologisempaa. (Hod & Burman 2013, 20-23.)

Periaate 9: Ääretön määrä materiaalivariaatioita

Erialaisten raaka-aineiden yhdistäminen on vaikeaa nykyajan valmistamismenetelmillä. Perinteiset koneet kaivertavat, leikkaavat ja muovaavat tuotteet muotoonsa, jolloin materiaalien yhdisteleminen on hankalaa. Monimateriaalitulostamisen kehittyessä eri raaka-aineiden yhdistämisestä tulee huomattavasti helpompaa. Materiaalien rajaton yhdistäminen avaa loputtoman materiaalivalikoiman, jonka avulla voidaan saavuttaa myös rajattomasti ominaisuuksia. (Hod & Burman 2013, 20-23.)

Periaate 10: Täsmällinen fyysisen muodon toistaminen

Digitaalista musiikkia voidaan kopioida loputtomasti ilman että äänenlaatu kärsii. Tulevaisuudessa 3D-tulostaminen laajentaa digitaalisen maailman täsmällistä toistoa fyysisten esineiden puolelle. Skannaus ja 3D-tulostusteknologiat yhdessä mahdollistavat korkearesoluutioisen muodonmuutoksen fyysisen ja digitaalisen ympäristön välillä. Fyysisistä esineistä voidaan tehdä täydellisesti toistettuja kopioita mutta myös paranneltuja versioita. (Hod & Burman 2013, 20-23.)

Perinteisillä valmistusmenetelmillä tuotteiden parantaminen on vaikeampaa, koska jokainen muutos merkitsee kalliita investointeja koko tuotantolinjaan. Nykypäivänä tuotteita ei parannella tai kehitetä edelleen ennen kuin muutoksille löytyy selkeä liiketoiminnallinen peruste. (Hod & Burman 2013, 26). Tuotekehitys on täten hitaampaa. 3D-tulostaminen auttaa löytämään tuotteiden ongelmakohtat aikaisemmin, jolloin ratkaisujakin löydetään nopeammin.

Kaikista vahvuuksistaan huolimatta 3D-tulostamisen käyttö ei ole perusteltua valmistettaessa suuria määriä edullisia tuotteita. Tulostamisen vahvuudet korostuvat valmistettaessa pienempiä määriä kalliimpia tuotteita, jotka vaativat mahdollisesti asiakaskohtaista kustomointia. (Hod & Burman 2013, 27-28.) Asiakaskohtaisesti kustomoidut moottoripyöräkypärät istuvat tähän kategoriaan erinomaisesti.

3D-tulostimet eivät pelkästään mullista teollisia valmistusmenetelmiä. Myös tulostimien kotikäytön ennustetaan lisääntyvän lähitulevaisuudessa räjähdysmäisesti. Kaikki eivät kuitenkaan ole aivan yhtä optimistisia: “Vaikka ihmiset ovat valmiita maksamaan hienoista 3D-tulostetuista tuotteista, suurin osa kuluttajista ei tule siltikään omistamaan tai käyttämään 3D-tulostinta. Sen sijaan he menevät Shapeways-, Amazon- ym. netti-kauppoihin ja ostavat tuotteet sieltä. He eivät tule koskaan tietämään, kuinka tuotteet tehdään, eikä se heitä edes kiinnosta. Aivan kuten tapahtuu nykyäänkin perinteisin menetelmin valmistettujen tuotteiden kanssa”, ennustaa arvostettu yhdysvaltalainen sijoituskonsultti Terry Wohlers, joka on seurannut 3D-tulostusta jo 25 vuotta. (Wohlers 2012.)

Kypäränvalmistajien kannalta tästä ei olisi haittaa. Kypärien valmistus tulee edelleen olemaan korkeaa asiantuntemusta ja turvaominaisuuksien tarkkaa testausta vaativaa tuotantoa.

2.6 3D-skannaus

3D-skannaus eli fyysisen kappaleen kolmiulotteinen automaattinen mallintaminen on jo melko yleistynyttä teknologiaa verrattuna 3D-tulostukseen. 3D-skannereilla voidaan skannata eri kokoisia asioita ja esineitä aina sormenjäljistä ja kolikoista rakennuksiin ja kortteleihin. (Geomagic 2013). Erilaisia 3D-skannereita on tarjolla eri käyttötarkoituksiin paljon ja halvimmillaan niitä saa n. 500 eurolla. Hinta määräytyy useimmiten skannaus-tarkkuuden mukaan. Yksinkertaisimmillaan 3D-skannaus vaatii vain kameran, laser-osoittimen ja 3D-skannausohjelmiston (AN-Cadsolutions 2013).

3D-skannauksessa skannerilaitteesta tuleva valonlähde – yleensä laser – liikkuu skannattavalla pinnalla, ja erillinen kamera lukee laserin ja pinnan muodostamaa rajapintaa. Tietokoneella oleva skannausohjelmisto muodostaa kameran välittämän materiaalin perusteella tuhansista pisteistä koostuvan kolmiulotteisen verkoston, toisin sanoen

kolmiulotteisen kappaleen. Pisteverkosto voidaan tallentaa skannausohjelmissa yleisimpiin 3D-tiedostomuotoihin, joita voidaan tutkia ja muokata useimmissa 3D-mallinnusohjelmissa. (Geomagic 2013.)



Kuvio 7. 3D skannausta

Koska yksilöllisten kypärien valmistamisessa hyödynnetään vain pään ulkomuodon melko suurpiirteistä, n. 0,5 mm:n tarkkuudella tapahtuvaa skannausta, ei skannauslaitteistolla ole kovinkaan merkittäviä vaatimuksia. Lisäksi, mitä tarkempaa skanneria käytetään, sitä raskaampia tiedostoja syntyy ja sitä enemmän ne tarvitsevat jälkikäsitelyä. Käsinpidettävät laitteistot toimisivat mainiosti esim. moottoripyöräkypäriä myyvässä liikkeessä, jossa yksilöllisen kypärän tilaavan asiakkaan pään muoto skannattaisiin.

2.7 Massaräätälöinti

Massaräätälöinti (mass customization) on tuotantomenetelmä, jossa yhdistetään edullinen ja nopea sarjatuotanto räätälöityyn ja joustavaan tilaustuotantoon (Logistiikan maailma 2013). Sitä toteutetaan mm. matkapuhelin- ja autoteollisuudessa, jossa asiakas voi itse valita annetuista vaihtoehdoista ne varusteet ja ominaisuudet, jotka hän haluaa omaan tuotteeseensa. Asiakslähtöisyys alkaa jo tilausvaiheessa. Kun kokoaminen voidaan tehdä asiakkaan valintojen mukaisesti, tuotteen toimitusaika lyhenee ja toimitusvarmuus paranee. Räätälöinti tuottaa asiakkaalle lisäarvoa, jolloin hän ei hankintapäätöstä tehdessään painota pelkkää hintaa. (Logistiikan maailma 2013.)

3D-tulostuksesta ja sen soveltamisesta massaräätälöintiin ja massatuotantoon on vuonna 2012 tehty opinnäytetyö mm. Upsalan yliopistossa. (Morales Cantu & Wisalchai Jonsson 2012) Siinä aihetta on käsitelty lähinnä liiketoiminnan näkökulmasta. Tutkimuksen keskeinen johtopäätös on kuitenkin, että 3D-tulostus on taloudellisesti kannattavaa myös massatuotannossa ja se mahdollistaa massaräätälöinnin.

Massaräätälöintiä ei toistaiseksi juurikaan ole sovellettu kypärävalmistukseen. Käyttäjä voi korkeintaan muokata ostettua kypärää hankkimalla siihen jälkikäteen eripaksuisia poskipehmusteita. Jo nyt moottoripyöräkypärät kootaan erilaisista osista, jotka valmistetaan erikseen. Mikäli kypärän sisimpiä osia voitaisiin tehdä asiakkaan mittojen mukaan 3D-tulostuksella, pystyttäisiin myös kypärätuotannossa yhdistämään massatuotannon ja yksilöllisen räätälöinnin edut ja saavuttamaan sitä lisäarvoa, josta asiakkaat ovat valmiita maksamaan.

3 TUTKIMUSONGELMA

3.1 Mistä kypärä puristaa?

Kansainväliset tutkimukset, mm. Euroopan Unionin teettämä Custom-fit Project osoittavat, että moottoripyöräilijöiden on vaikea löytää täydellisesti istuvaa kypärämallia (Bird 2013). Tarkempia tutkimuksia siitä, millaisista tekijöistä tämä negatiivinen asiakaskokemus muodostuu, ei ole löydettävissä. Joitakin suunnittelun lähtökohdista johtuvia rakenteellisia ongelmia on kuitenkin jo ratkaistu. Esimerkiksi 2000-luvulla kypärävalmistajat ovat ryhtyneet tekemään mallistoja kunkin maanosan käyttäjille erikseen, sillä mm. aasialaisten ja eurooppalaisten kallonmittojen on todettu eroavan toisistaan merkittävästi (Delft University of Technology 2011). Vaikka istuvuuden käsitettä ja parametrejä ei olekaan tutkittu, istuvuus on silti kypäräkeskustelujen keskeinen aihe. Vuosittain alan lehdet tekevät vertailutestejä, joissa arvioidaan uusia kypärämalleja myös istuvuuden kannalta. Ne perustuvat kuitenkin varsin suppean käyttäjäkunnan – tavallisesti lehden omien toimittajien tai avustajien – henkilökohtaisiin kokemuksiin.

Toistaiseksi en ole löytänyt yhtään tutkimusta, jossa selvitetäisiin konkreettisesti esimerkiksi piirustusten avulla, mitkä kohdat kypärän sisämuotoilussa aiheuttavat eni-

ten ongelmia: mistä sisus painaa, mistä se hankaa, mistä se ahdistaa. Niinpä päätin kehittää itse testipiirroksen ja –kaavakkeen, jonka avulla asiakkaat voivat tarkemmin määrittellä istuvuuden ongelmakohtia.

3.2 Kypärien istuvuustesti

Kypärien istuvuutta tutkiakseni suoritin työpaikkani ajovarustemyymälässä käyttäjätutkimuksen, johon osallistuivat sekä myymälässä vierailevat motoristiasiakkaat että myymälän myyntihenkilökunnan jäsenet.

Istuvuustestissä koehenkilöt kokeilivat sokkona kolmea eri merkistä ja keskihintaista (n. 300–400 €) kypärää. Mikäli koehenkilöt havaitsivat sisustassa kohtia, jotka painoivat tai tuntuivat muuten vain epämiellyttäviltä, he merkitsivät erivärisillä tusseilla testilomakkeessa oleviin kypärän ja pään leikkauskuviiin kyseiset ongelmakohdakohtat. Lisäksi he vastasivat testilomakkeen kysymyksiin, jotka käsittelivät kypärien istuvuutta sekä yleisesti kypärien hyviä ja huonoja puolia. Lomakkeessa annettiin myös mahdollisuus esittää omia kehitysehdotuksia. Testilomakkeen piirrokset ja kysymykset liitteessä 1.



Kuvio 8. Kypärien istuvuustesti All Right Europe Oy:n myymälässä

Oman ennakkotietämykseni pohjalta valitsin testiin kolme istuvudeltaan erilaista

kypärää.

Kypärä 1. Ensimmäinen kypärä istui itselleni huonosti: se painoi otsasta ahdistavasti mutta oli kuitenkin löysä sivuilta. Myyjienkin mukaan tämän kypärän kohdalla asiakkailla on ollut istuvuusongelmia varsin yleisesti. Kyseessä oli jo vuosikymmeniä toiminut, erittäin tunnetun kypärävalmistajan kypärä.

Kypärä 2. Tämän kypärän valmistaja on myös pitkän linjan toimija offroad-alalla ja tullut tunnetuksi motocross-pyörien muoviosien valmistajana. Yritys on alkanut valmistaa kypäriä vasta noin viisi vuotta sitten. Tämä kypärä istuu päähäni kohtalaisen hyvin ahdistamatta mistään, mutta kypärän yleistuntu ei ole kovinkaan turvallisen tuntuinen. Hyvä istuvuus on saavutettu osin vain paksulla kangastoppauksilla, minkä takia kypärän sisus ei tunnu riittävän napakalta ja tukevalta.

Kypärä 3.

Viimeisen kypärävaihtoehdon on valmistanut maailman suurin kypärävalmistaja, jonka asema markkinajohtajana perustuu edullisiin, kaukoidän valtaville markkinoille tehtyihin katumoottoripyöräkypäriin. Tältä valmistajalta löytyy kuitenkin sekä katu- että offroad-käyttöön tarkoitettuja lippulaiva-kypärämalleja, jotka ovat voittaneet muutamia arvostettujen moottoripyörälehtien testejä. Testissä ollut kypärä edustaa valmistajan offroad-kypärien lippulaivatuotetta. Itselläni on tällainen kypärä myös käytössä ja omaan päähäni kypärä istuu napakasti ja tuntuu turvalliselta.

Kypärien istuvuutta tutkivaan käyttäjätettiin osallistui varsin kiitettävästi eri-ikäisiä miehiä ja naisia, ajovarustemyymälän asiakkaita sekä kolme myyntihenkilökunnan jäsentä. Yhteensä testihenkilöitä oli 15. Olisin toivonut suurempaa otantaa, mutta valitettavasti testipäivät osuivat lokakuun sateisille päiville. Myymälässä kävijöitä ei ollut yhtä paljon kuin yleensä aurinkoisella säällä ja ajokauden aikana.

3.3 Käyttäjätutkimuksen tulokset

Testihenkilöiltä kerätyt tulokset noudattelivat osin omia kokeiluhavaintojani, mutta täysin päinvastaisiakin testilausuntoja annettiin.

Kypärä 1. Tulokset

Ensimmäisen kypärän istuvuusongelmien – painaa otsalta ja on löysä sivulta – piti olla melko selvä asia, mutta kypärän istuvuudessa oli eri henkilöiden välillä paljon vaihte-

lua. Muutamilla henkilöillä kypärä ahdisti poskipäistä, ei kuitenkaan muualta. Eräällä henkilöllä kypärä painoi takaraivon ja poskien kohdalta, toisella taas leuasta ja niskasta. Erään miespuolisen ja erään naispuolisen mielestä kypärä 1. istui kaikista parhaiten.

Kypärä 2. Tulokset

Tämä kypärä istui useimpien päähän kohtalaisen hyvin, yhden mielestä jopa erinomaisesti, parhaiten koko kolmikosta. Yhden henkilön mielestä kypärä painoi sivulta leuan kohdalta. Valtaosan mielestä kypärä tuntui hieman keskinkertaiselta eikä riittävän tukevalta, aivan kuten olin itsekin kypärää kokeillessani todennut.

Kypärä 3.

Kuultuani testihenkilöiden vaihtelevat kokemukset kahdesta aiemmasta kypärästä en oikein osannut ennustaa, miten tämä ennalta hyväksi kokemani kypärä pärjäisi. Valtaosa testihenkilöistä piti kypärän istuvuutta koko joukon parhaana. Suurin osa kuvaili istuvuutta sopivan tukevaksi ja napakaksi, ilman että kypärä kuitenkaan painoi mistään. Erään mielestä kypärä kuitenkin oli väljä päältaelta ja painoi poskipäistä. Samalle henkilölle kaikkein epätodennäköisin kypärävaihtoehto 1 istui parhaiten. Taulukosta 1. voidaan tarkastella kypärien istuvuutta testihenkilöillä.

	Kypärä 1.	Kypärä 2.	Kypärä 3.
Ei istunut	9	2	1
Istui hyvin	2	2	6
ei valittamista	4	11	8

Taulukko 1.

Istuvuustestin yhteydessä testihenkilöiltä kysyttiin muutamia yleisiä kysymyksiä liittyen kypärien istuvuuteen ym. ominaisuuksiin.

Kaikkien mielestä kypärän istuvuus on kypärän merkittävin turvallisuustekijä. Istuvuus oli valtaosan mielestä kaiken lähtökohta uuden kypärän ostotilanteessa. Seuraavana tulivat ulkonäkö, hinta ja kypärän merkki. Taulukosta 2. voi tarkastella testihenkilöiden esittämiä ja ostokriteerejä ja niiden tärkeysjärjestystä.

Tekijät	Vastaukset															Sijoitus (mediaani)	Vastauksien lukumäärä	
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	3			3
Istuvuus	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	3	3	1	15
Ulkonäkö	1	2	2	2	2	2	2	3	4	4							2	10
Hinta	1	2	2	3	3	3	3	4									3	8
Merkki	2	3	4	4	5												4	5

Taulukko 2.

Kypäräliikkeessä ensimmäisenä hyllystä kuitenkin napataan kokeiltavaksi tietyn merkkinen kypärä, joka on valikoitunut huhupuheiden tai omien kokemusten perusteella. Kypärävaihtoehtoja lähdetään yleensä kokeilemaan myös ulkonäön perusteella.

Kuvailin testihenkilöille yksilöllisesti istuvaa kypäräkonseptia: aluksi kypäräliikkeessä mitattaisiin asiakkaan päämitat skannaamalla, jonka jälkeen oikean kokoinen kypärä toimitettaisiin asiakkaalle muutaman viikon toimitusajalla. Yhtä myymälähenkilökunnan jäsentä lukuunottamatta kaikki testaajat kokivat idean kiinnostavana. Tosin lähes puolet vastaajista, samoin kuin tämä ideaan kielteisesti suhtautuva henkilökunnan edustaja totesivat, että sopiva kypärä löytyy aina hyllystä ennemmin tai myöhemmin.

Kun kysyin, kuinka paljon enemmän he olisivat valmiita maksamaan yksilöllisestä kypärästä verrattuna hyllystä löytyvään High End -kypärään, 11 henkilöä 15:sta voisi maksaa kypärästä n. 20 % prosenttia enemmän. Yksilöllisesti istuvan kypärän maksimihintaa kysyttäessä vastaukset vaihtelivat 700 ja 1200 euron välillä. Alempia hintoja antaneet olivat 15–40 vuotiaita, kun taas korkeampia hintoja antoivat yli 40 vuotiaat.

3.4 Asiantuntijoiden näkemyksiä

Istuvuustestin lisäksi haastattelin kahta henkilöä, joilla on runsaasti sekä teoreettista että käytännön tietoa moottoripyöräkypäristä. Toinen henkilöistä on suomalaisen moottoripyöräajovarusteita ja varaosia maahantuovan All Right Europe Oy:n kypärämerkien tuotepäällikkö Riiko Kuitunen. Toinen haastateltava on Enduro-moottoripyöräilyn 13-kertainen maailmanmestari Juha Salminen.

Esitellessään kypäriään kypärävalmistajat painottavat Riiko Kuitusen mukaan turvallisuutta, jonka mittareina toimivat pääosin läpäistyt standarditestit. Standardien täyt-

täminen ei kuitenkaan välttämättä kerro kaikkea kypärän turvallisuudesta. Monet valmistajat suunnittelevat kypäriensä ulko- ja sisäkuoret sillä tavalla, että ne on optimoitu läpäisemään testit. Esimerkiksi EPS-kuoreen sijoitellaan tiivimpiä alueita sinne, mihin iskut testeissä kohdistuvat. Monilla valmistajilla on myös tapana kompensoida kovan ulkokuoren heikkouksia kauttaaltaan kovemmallalla EPS-kuorella, jolloin läpäisytestissä läpäisevä esine menee kyllä ulkokuoresta läpi, mutta pysähtyy viimeistään EPS-kuoreen. Kovempi EPS-kuori puolestaan heikentää kypärän kykyä imeä iskuenergiaa, mikä lisää aivovauroiden riskiä. Euroopassa käytössä oleva ECE22.05- ja Yhdysvalloissa käytetty DOT-standardi eivät ota näitä tekijöitä huomioon, vaikka niistä varmasti ollaan tietoisia.

Toki löytyy kypärävalmistajia, jotka ovat huolehtineet kypärän turvallisuudesta ja ylittäneet kypärästandardien vaatimukset reilusti. Joillakin valmistajilla on panostettu kovaan ulkokuoreen siinä määrin, että se pysäyttää terävät kappaleet tehokkaammin kuin testeissäkään vaaditaan. Tällöin he ovat voineet käyttää pehmeämpiä EPS-seoksia, jotka vaimentavat iskuja aivojen kannalta tehokkaammin.

Kuitusen mukaan suurimmat kypärävalmistajat myyvät n. 800 000–1 000 000 kypärää vuodessa. Euroopassa myydään eniten keskihintaisia, n. 200–250 euron kypäriä. Vahvemmassa taloustilanteessa panostetaan hieman kalliimpiin kypäriin ja esimerkiksi Pohjois-Euroopassa myydään eniten astetta kalliimpia, 300–350 euron kypäriä.

Kun kysyin Kuitusen mielipidettä yksilöllisesti istuvan, 3D-tulostusta hyödyntävän kypärän mahdollisuuksista kypärämarkkinoilla, hän arveli, että tällaiselle kypärälle olisi kysyntää, mutta ennakkomarkkinoinnin tulisi olla kunnossa. Uusi kypäräkonsepti tulisi tehdä mahdollisimman tunnetuksi kuluttajille.

Kuitusen mukaan kalleimmat katukypärät maksavat 1 500–2 000 euroa. Tämän hintaluokan Arai-kypärää on tänä vuonna myyty esimerkiksi Ruotsissa vain yksi kappale. Korkeaan hintaluokkaan luokiteltavia kypärät, joita myydään yleisemmin, maksavat n. 600–1 000 euroa.

– Yli tonnin hinta on useimmille kynnyskysymys, kun tiedetään, ettei kypärä voi ottaa vastaan kuin yhden iskun, jonka jälkeen tulisi hankkia uusi, Kuitunen toteaa. Yksilöllisesti istuva kypärä ei Kuitusen mielestä saisi maksaa juuri 1 000 euroa enempää.

Kypärien parannusehdotuksia kysyessäni Kuitunen haluaisi enemmän lisätä kypärien laadun ja turvallisuuden läpinäkyvyyttä kypärästandardeja kehittämällä.

– Kiiltävän lakan alle on vaikea nähdä. Mielestäni kypärästandardeja tulisi portauttaa esim. kolmeen luokkaan, jossa luokassa 1. olisivat kaikkein turvallisimmat kypärät, luokassa 2. seuraavaksi turvallisimmat kypärät ja luokassa 3. vähiten turvallisimmat kypärät. Tämä palvelisi sekä kuluttajia että myyjiä, Kuitunen totesi.

Juha Salminen on enduron 13-kertainen maailmanmestari, Suomen menestynein moottoriurheilija ja maailman toiseksi menestynein moottoripyöräilijä, edellään ainoastaan 1960- ja 1970-luvulla Road Racing -kilparatoja hallinnut italialainen kuljettaja Giacomo Agostini. Salminen päätti ammattilaisuransa muutama kuukausi sitten ajamalla vielä 36-vuotiaana Enduron maailmanmestaruussarjan E1-luokassa hienosti toiseksi. Mies on hiljattain aloittanut Husqvarna-moottoripyörien Euroopan myyntipäällikkönä ja tavoitinkin hänet puhelimitse työmatkalta Tallinnasta.



Kuvio 9. Juha Salminen (All Right Europe Oy 2013)

Juha Salminen on 18 vuotta kestäneen ammattilaisuransa aikana pitänyt päässään monenlaisia kypäriä, riippuen siitä, mikä valmistaja on ollut kulloinkin Juhan tai hänen edustamansa tiimin sponsorina.

Yleisimpiä kypärien istuvuusongelmia kysyessäni Salminen totesi aluksi, että hänen käyttämiensä kypärien välillä oli valtavia eroja.

– Muutamat kypärät olivat kuin ilmapallolle sovitettuja. Styroksikuori painoi kangassisustan läpi aivan ihmeellisistä paikoista, mutta oli kuitenkin löysä sieltä, missä

olisi tarvinnut tukea. Outoa, että nämä muutamat kypärät olivat vielä kohtalaisen tunnetun kypärävalmistajan valmistamia, Salminen paljastaa.

Salmisen mukaan huonosti istuva kypärä vaikutti myös silmäaukon sijoittumiseen ja ajolasien asettumiseen.

– Jos kypärä istui huonosti ja silmäaukko asettui väärään paikkaan, ajolasit sai kyllä hetkellisesti aseteltua kasvoille oikein. Tärinän seurauksena ne alkoivat kuitenkin laskeutua nopeasti kasvoilla alaspäin, kunnes ajolasin alareuna painoi nenänvartta, Salminen totesi.

Kysyin Salmiselta, onko yksikään kypärävalmistaja tehnyt sponsoroimilleen tähtikuljettajille yksilöllisesti istuvia kypäriä.

– Ei minun tai tiimikaverieni kypäriin koskaan tehty mitään muutoksia valmistajan toimesta. Kaikkein huonoimmin istuvien kypärien kohdalla muokkailimme niitä kyllä salaa itse. Esimerkiksi erääseen kypärämalliin oli pakko leikata telttapatjasta lisätäytettä EPS-kuoren sisäpuolelle kypärän alaosaan, koska sieltä puuttui tuki kokonaan. Tuntui että kypärä oli vähällä lähteä päästä, Salminen paljasti.

– Joissakin kypärissä EPS-kuorta piti painaa kasaan paikoista, josta ne painoivat kivuksi saakka. Kypärien muokkaaminen lopetettiin siinä vaiheessa, kun eräs kuljettaja sai vakavamman päävamman. Siihen mennessä olin kyllä jo itse sanonut tiimille, etten voinut käyttää tiimisponsorin kypärää ja olin hankkinut itselleni henkilökohtaisella sopimuksella turvallisemmat kypärät eri valmistajalta, Salminen kertoo.

Salmisen mielestä hyvän kypärän tärkeimpiä ominaisuuksia ovat hyvä istuvuus ja käyttömukavuus sekä luottamusta herättävä tuntuma.

– Kun kypärän ottaa käteen, tietää jo useimmiten, onko se tukeva, turvallinen ja luottamusta herättävä. Käyttömukavuutta tuo keveys sekä tietynlainen huomaamattomuus ja liikkumisen esteettömyys, kun kypärä on päässä. Toisaalta kypärä ei saa olla myöskään liian kevyt, koska silloin kypärän iskuenergian vaimennus ja yleinen tukevuus kärsii. Kypärävalmistajat tasapainoilevatkin keveyden ja jämäkyöden välillä, Salminen tietää kertoa.

Salmisen mielestä kypärien kangassisustan materiaaleihin tulisi kiinnittää huomiota.

– Monesti kypärien sisustat saattavat tuntua täysin uutena varsin hyvältä, mutta jo ensimmäisten hikoilujen myötä kangas muuttuu karheaksi ja epämiellyttävän tuntuiseksi. Erot ovat isoja. Jotkut kypärät tuntuvat 10 minuutin ajotauon jälkeen uudelleen

päähän laitettaessa todella limaisilta kun taas toiset tuntuvat huomattavasti vähemmän epämiellyttäviltä.

Salmisen mukaan kypärien sisustan irrotettavuus, konepestävyys ja nopea kuivuminen ovat kehittyneet viimeisen viiden vuoden aikana merkittävästi.

– Aiemmin kypärien kangassisustoja ei voinut irrottaa, joten niitä jouduttiin pesemään tiskiharjoilla ja kuivumista piti odotella useamman päivän ajan, Salminen muisteli.

Kun kysyin mielipidettä 3D-tulostusta hyödyntävästä, yksilöllisesti istuvasta kypärästä, Salminen ilmaisi kiinnostuksensa heti:

– Mielenkiintoinen ajatus. Jos sillä teknologialla todella saataisiin yhdistettyä istuvuus, turvallisuus, käyttömukavuus ja luottamusta herättävä tuntuma, en näkisi konseptille mitään estettä.

Salmisen mielestä kypärän voisi olla hinnaltaan 1 000–1 500 euroa, mutta lisäksi asiakkaalle olisi hyvä tarjota jonkinlaista ylläpitopalvelua.

– Olen vuosia käyttänyt polvitukia, jotka ovat valmistettu mittojeni mukaan. Toki ne ovat kalliit (2 000–2 500 euroa/pari), mutta kyseisiä polvitukia voidaan pitää käytössä vaikka kymmenen vuotta tai pidempäänkin säännöllisten huoltojen ansiosta, jotka eivät maksa mitään. Tavalliset polvituet kestävät vain 2–3 vuotta, Salminen kertoi.

3.5 Innovaatioita kypäräteollisuudessa

Suuret kypäräyritykset kehittävät kypäriensä ominaisuuksia ja turvallisuutta melko hitaasti, mutta pienemmiltä yrityksiltä tai yksittäisiltä suunnittelijoilta tai insinööreiltä tulee silloin tällöin ideoita, joiden pyrkimyksenä on parantaa moottori- tai pyöräilykypärien turvallisuutta.

3.5.1 Pahvikypärä

Lontoon kuninkaallisesta taideyliopistossa opiskellut Anirudha Surabhi kehitti pyöräilykypäräkonseptin, joka on sekä valmistusmenetelmältään että ominaisuuksiltaan varsin erilainen kuin perinteiset pyöräilykypärät. Surabhin kypärässä on samanlainen ulko-kuori kuin missä tahansa pyöräily- tai rullalautakypärässä, mutta kypärän iskuja vai-

mentavana sisäkuorena toimii perinteisen EPS:n sijaan pystysuuntaisista pahvinpalasista koostuva verkkomainen pahvirakenne.



Kuvio 10. Abus Kranium –pyöräilykypärä tuli markkinoille 2011 (Gizmag 2013)

Raaka-aineena käytetty pahvilevy ei ole perinteistä pahvilevyä vaan levyn rakenteen Surabhi on kehittänyt itse. Surabhin mukaan pahvikuorirakenteen iskunvaimennus on peräti kolme kertaa parempi kuin perinteisen EPS-kuoren. Pahvirakenteen ansiosta kypärän kokonaispaksuus on myös 8mm ohuempi kuin perinteisissä pyöräilykypärissä ja ilmastointiominaisuudet ilmavan rakenteen takia huomattavasti paremmat. Sisäkuoren valmistamisessa ei tarvita EPS-muotteja vaan pahvirakenteet leikataan laserilla pahvilevyltä irti ja kastetaan muoviseokseen, joka antaa pahville kumimaisen pinnan ja tekee pahvirakenteesta vedenpitävän.

Sittemmin Surabhi on jatkokehittänyt pahvirakennettaan ja soveltanut sitä mm. kilpa-pyöräilykypärän valmistamiseen. Saksalainen ABUS-pyöräilykypärävalmistaja osti Surabhilta oikeudet kypärän valmistamiseen ja ensimmäiset kypärät tulivat myyntiin vuonna 2012. (Surabhi 2013)

3.5.2 MIPS antaa kypärän pyöriä

Vuonna 1997 ruotsalainen neurokirurgi Hans Von Holst kiinnitti huomiota siihen, että yksikään markkinoilla ollut pyöräily-, laskettelu-, hevos- tai moottoripyöräkypärä ei suojannut kierteisiltä iskuilta, jotka ovat varsin yleisiä erilaisissa kaatumisissa. Toisin kuin kypärätesteissä, jossa mitataan lähinnä kohtisuoria iskuja, oikeat onnettomuudet tapahtuvat yleensä liikkeestä, jolloin kierteisen iskun riski on aina läsnä. (MIPS 2013.)

Kierteisellä iskulla tarkoitetaan voimaa, joka saa aivot pyörähtämään kallon sisällä. Kierteiset iskut ovat syynä kaikkein vakaviimpiin aivovaurioihin kuten aivoverenvuotoihin. Hans Von Holt otti yhteyttä Tukholman kuninkaallisen instituutin teknologiapuolella tutkijana toimineeseen Peter Halldiniin. Miehet alkoivat tutkia kierteisiä iskuja, ja vuosien tutkimustyön jälkeen he kehittivät kypäran istutettavan lisäosan, jolla kypärien ulko- ja sisäkuori saataisiin pyörähtämään toistensa suhteen. He antoivat tuotteelle nimen MIPS (Multi-directional Impact Protection System).

MIPS on muovikappale, joka asennetaan ulko- ja EPS-sisäkuoren väliin. Se vähentää kuorien välistä kitkaa ja antaa kuorien pyöriä toistensa suhteen määrätyn verran. Ensimmäisessä kehitysversiossa kuoret pyörivät takaraivo-otsa -suunnassa, mutta uusimmassa kehitysversiossa kuoret pyörähtävät myös sivusuunnassa.



Kuvio 11. MIPS-systeemi pyöräilykypärässä (Stevenson 2012)

Sen sijaan että keksijät olisivat alkaneet valmistaa omaa kypärää, he alkoivat etsiä kypärävalmistajia, jotka haluaisivat sovitaa MIPS:n osaksi kypäriään. Nykypäivänä lukuisat urheilukypärävalmistajat ja muutamat moottoripyöräkypärävalmistajat ovat

ottaneet MIPS:n käyttöön. MIPS sovitetaan jo kuorien suunnitteluvaiheessa kunkin kypärävalmistajan uuden kypärän kuorien väliin. MIPS asennetaan kypärään siis jo kypärän kokoonpanovaiheessa.

3.5.3 Amerikkalainen kypäränvalmistaja 6D

Vuonna 2012 perustettu kalifornialainen moottoripyöräkypärävalmistaja 6D toi vuonna 2013 markkinoille offroad-moottoripyöräkypärän, jossa on haastettu perinteistä kypärärakennetta ja pyritty parantamaan kypärän suojaavuutta merkittävästi. 6D:n kypärän suunnittelun lähtökohtana oli mm. kypärän suojaavuuden sovittaminen käyttötarkoituksen vaatimalle tasolle (6D Helmets 2013).

Offroad-moottoripyöräilyn kaatumistapauksissa vauhdit ovat pääosin pienemmät kuin katumoottoripyöräilyssä. Useimpien kypärävalmistajien kypärissä EPS-sisuksen kovuus on määritelty suojaamaan kovalla vauhdilla tulevia iskuja, jolloin offroad-lajeissa sisus on väistämättäkin liian kova hidassvauhtisiin kaatumisiin. (6D helmets 2013.)

6D:n kypärä koostuu poikkeuksellisesti kahdesta sisäkkäin sijoitetusta EPS-kuoresta, jotka on erotettu toisistaan 27:llä tasaisesti sijoitetulla kumivaimentimella. Nämä kumityynyt ovat pehmeämpiä kuin EPS-kuoret ja suunniteltu suojaamaan nimenomaan hidassvauhtisissa kaatumisissa. EPS-kuorien kovuus noudattelee samaa kovuusastetta kuin perinteisissä kypärissä. Kovavauhtisessa kaatumisessa kumivaimentimet antavat periksi, jolloin EPS-kuoret osuvat toisiinsa ja muodostavat yhtenäisen EPS-kuoren, joka imee iskuenergian itseensä perinteisen kypärän tavoin. (6D Helmets 2013.)

6D:n kypärässä EPS-kuorien välinen tyhjä tila ja kumivaimentimien liikkuvuus myös sivusuunnassa mahdollistavat sisemmän kuoren pyörähtämisen ulomman kuoren sisällä, jolloin kierteisen äkkipysähdyksen voimat vaimenevat edes hieman. (6D Helmets 2013.) Perinteisissä kypärissä kierteisen liikkeen ehkäisyä ei ole otettu huomioon lainkaan. Kuviossa 13. on nähtävissä 6D:n kypärän kaksosikuorirakenne ja kumityynyt.



6D:n kaksoiskuoriratkaisu ja kumivaimentimet (6D Helmets 2013).

6D:n kehittämät suojaratkaisut vaikuttavat perustelluilta ja ovat merkittävä edistysaskel kypäränvalmistuksessa. Siitä huolimatta kypärän valmistusmenetelmiä ei ole tässäkään tapauksessa mullistettu. Kypärä koostuu edelleen EPS-kuorista, jotka vaativat merkittäviä panostuksia muottikustannuksina. Vaikkakaan kyse ei ole merkittävästä kuluerästä, on myös kumivaimentimet tehtävä erikseen.

3D-tulostetuilla rakenteilla saattaisi olla mahdollista toteuttaa 6D:n esittelemät ominaisuudet kevyemmin valmistettuna ja toisaalta saumattomammin yhdistettynä kuin nykytekniikalla. Suojaavuusominaisuuksia voitaisiin myös hienosäätää käyttötarkoituksen mukaan.

3.6 6D:n kypärien valmistaminen

Pääsin haastattelemaan videopuhelimitse 6D:n toista perustajajäsentä Robert Reisingeriä, joka on toiminut "aivoina" 6D:n ATR-1 –kypärän tuotekehityksessä. Reisinger on itsekin ajanut USA:ssa ammattilaisena motocrossia 1970-luvun alkupuolella, mutta vaihtoi ajamisen insinööriopintoihin. Valmistuttuan insinööriksi Cal Poly State –yliopistosta, Reisinger jäi sinne vielä opettamaan CAD/CAM -suunnittelua, CNC-koneiden ohjelmointia, robotti-ohjelmointia sekä tuotantolinjojen soluyksiköiden työkalujen suunnittelua. Kun Reisinger lopetti yliopistossa, hän perusti vuonna 1989 Mountain Cycle –maastopyöräyrityksen, joka valmistaa maastopyöriä vielä tänäkin päivänä. Reisinger toiminut viimeiset 30 vuotta polkupyörä- ja moottoripyöräteollisuudessa. Hänen nimissään on lukuisia patenteja, mutta hän on myös kehittänyt useita innovatiivisia tuotteita aina maastopyörien jousitetuista etuhaarukoista ja levyjarruista motocrosspyörien pakoputkiin ja nyt myös offroad-kypäriin. (6D helmets 2013.)

Itselläni oli jonkinlainen käsitys kypärien valmistamisesta, mutta ei kovinkaan kokonaisvaltaista ja vedenpitävää tietämystä. Haastatteluni tarkoituksena oli ensisijaisesti ottaa selvää nykypäivän moottoripyöräkypärien valmistustavoista.

Reisinger aloitti kertomalla muoteista. Kypärän kovalle ulkokuorelle ja iskuja vaimentavalle EPS-sisäkuorelle (6D:n tapauksessa kahdelle EPS-sisäkuorelle) tehdään kullekin omat muottinsa. 6D:n kypärän ulkokuori on valmistettu kuitukomposiitista, joka on hiilikuidusta, Kevlar-kuidusta, lasikuidusta ja muovista koostuva yhdiste.

EPS-kuoret tehdään sulkeutuvissa muoteissa, joiden sisään laajentumattomat EPS-granulaatit työnnetään. Granulaatteja on erikokoisia ja ne sijoitellaan muottiin eri puolilla sijaitsevista aukoista sen mukaan, missä tarvitaan tiiviimpää rakennetta ja missä pehmeämpää. EPS-granulaatit laajennetaan muotin sisällä lopulliseen muotoonsa höyrystämällä. Reisinger kertoi, että yhdessä EPS-muotissa saattaa olla kuusi muottionkaloa, jolloin yhdellä n. 3 minuuttia kestäväällä painalluksella saadaan kuusi kuorta. Reisingerin mukaan EPS-muotin tekeminen maksaa 4 000–5 000 dollaria ja kestää muutamasta viikosta muutamaan kuukauteen, riippuen muotin valmistajasta. Yhtä kypärämallia kohden valmistetaan 2–3 eri kokoista EPS-kuorta, jotta turvallisuus säilyy tasaisesti pienimmästä kypäräkoosta 52 cm suurimpaan kokoon 60 cm (viisi kypäräkokoa). Reisingerin mukaan EPS:n suurimpia etuja ovat sen hyvä iskunvaimennuskyky sekä todella edullinen hinta. Huonoja puolia ovat valmistuksen aloituskustannukset ja monimutkainen valmistusprosessi.

Kovan ulkokuoren voi tehdä monella tavalla. Reisingerin mukaan ns. vanha tapa on asettaa lujitematot käsin (lasikuitu, hiilikuitu tms.) tasaiselle alustalle, jonka jälkeen lujitemattojen päälle levitetään hartsi käsin rullaamalla. Seuraavaksi märkä rakenne vietään muottiin, jossa se puristetaan kasaan muotin keskeltä paisuvalla ilmatäytteisellä ”kumipallolla” ja kovetetaan kuumentamalla. Tämän menetelmän huono puoli on Reisingerin mukaan laadunvaihtelu, joka aiheutuu toisaalta käsin asetettujen lujitemattojen sijoittumisesta mutta myös käsin levitetyn hartsin määrästä. Yleensä muotista tuleva kuori on täysin umpinainen, ja siihen pitää leikata silmäaukko ja päänaukko. Ennen leikkaus tehtiin käsin leikkausapluunojen avulla, mutta nykyään leikkaamiseen käytetään robottiohjattuja laserleikkureita.

6D:n ulkokuoren valmistusprosessissa lujitteiden asettaminen tehdään koneellisesti tuotantolinjalla, jonka jälkeen ne siirretään muottiin. Muottiin lisätään hartsin sijaan

muoviseos, jonka jälkeen lujitteet ja muovi painetaan tiukaksi komposiittirakenteeksi muotin seinämään ilmatäytteisellä kumipallolla. 6D:n kypärälle tehdään ulkokuoria kolmessa eri koossa, mikä vaatii myös kolme erilaista muottia. Kukin muotti maksaa 7000–8000 dollaria.

Halvempien kypärien ns. muovikuoria, joissa ei ole lujitteita, tehdään myös ruiskupuristamalla. Ruiskupuristamisessa ruiskumuotin esikammioon annostellaan tarvittava määrä muovigranulaatteja. Granulaatit sulavat kammiossa, josta siirtoruuvien välityksellä nestemäinen muovi ruiskutetaan muottiin. Ruiskupuristamisessa ulkomuotin lisäksi myös kuoren sisäpuolelle on oma metallinen muotti ilmatäytteisen kumin sijaan. Jotta muotti saadaan suljettua ja avattua, edellyttää se muotilta lukuisia liikkuvia osia. Muotti tulee myös valmistaa kalliimmasta ja kestävämmästä työkaluteräksestä, jotta se kestää ruiskupuristamisen kuumuutta ja kovaa puristuspainetta satoja tuhansia tai jopa miljoonia kertoja. Kypärämuotti on yleensä n. kuutiometrin kokoinen, eli sangen suuri tuotettavaan kuoreen nähden. Kypäräkuorien ruiskumuottien hinnat Reisingerin mukaan ovat yli 8 000–10 000 euroa.

Työkalukustannuksiin kuuluu muottikustannusten lisäksi itse muottikoneet, pienempien osien muotit, eri välivaiheiden koneet ja robotit (leikkurit) sekä niiden ohjelmoiminen ja säännöllinen säätäminen. Kun he suunnittelevat tuotantovaiheita, heillä kuluu paljon aikaa eräänlaisten mukavuusalueiden saavuttamiseen kussakin tuotantovaiheessa.

– Tehtaalla kullakin koneella on oma käyttäjänsä, joka keskittyy vain omaan tuotantovaiheeseensa. Näillä henkilöillä ei ole välttämättä ymmärrystä tai kiinnostusta vaiheista, jotka edeltävät tai seuraavat heidän tuotantovaihettaan, joten muuttujien ja laadunvaihtelun minimoiminen on tärkeää. Jos koneiden käyttäjät joutuvat poistumaan mukaavuusalueeltaan, seuraa ongelmia, Reisinger kertoo.

Vaikka muotit tehdään nykyään Kiinassa CNC-jyrsimillä, matkan varrella voi edelleen mennä asioita vikaan.

- Eräässäkin tapauksessa ihmettelimme, kuinka muotti ei ollut sellainen kuin olimme tarkasti optimoimaamme CAD-tiedostoon määritelleet. Säädimme tiedostoa uudestaan ja uudestaan. Kommunikaatio-ongelmista johtuen ehti kulua melkein vuosi ennen kuin ymmärsin, että vika johtui CNC-jyrsimestä, jonka he olivat ohjelmoineet jyrsimään liian nopeasti, koska halusivat säästää aikaa, Reisinger kertoo.

– He myös usein korjaavat tällaisia virheitä omatoimisesti käsin jyrsimällä, jolloin toleranssit kasvavat ja pian osat eivät enää sovikaan yhteen. Useimmat tehtaot eivät käytä tarjolla olevaa teknologiaa hyväkseen riittävän hyvin vaan monesti lähdetään oikomaan ja tekemään asioita käsin. Joudun painottamaan heille toistuvasti, ettei korjauksia tulisi tehdä käsin, Reisinger jatkaa.

Reisingerin mukaan valmiista CAD-tiedostosta tuotannon aloittamiseen menee n. 12–18 kuukautta ja aloituskustannuksia on siihen mennessä ehtinyt kertyä 100 000–150 000 dollaria.

– Meillä kuluu paljon aikaa myös tuotannon valvomiseen. Käyn Kiinassa tehtaalla kahden kuukauden välein, monesti vain tarkistamassa, että kaikki sujuu sovitun mukaisesti, Reisinger kertoo.

Kysyin Reisingeriltä, löytyykö heidän yrityksensä 3d-mallinnuksen osaajia.

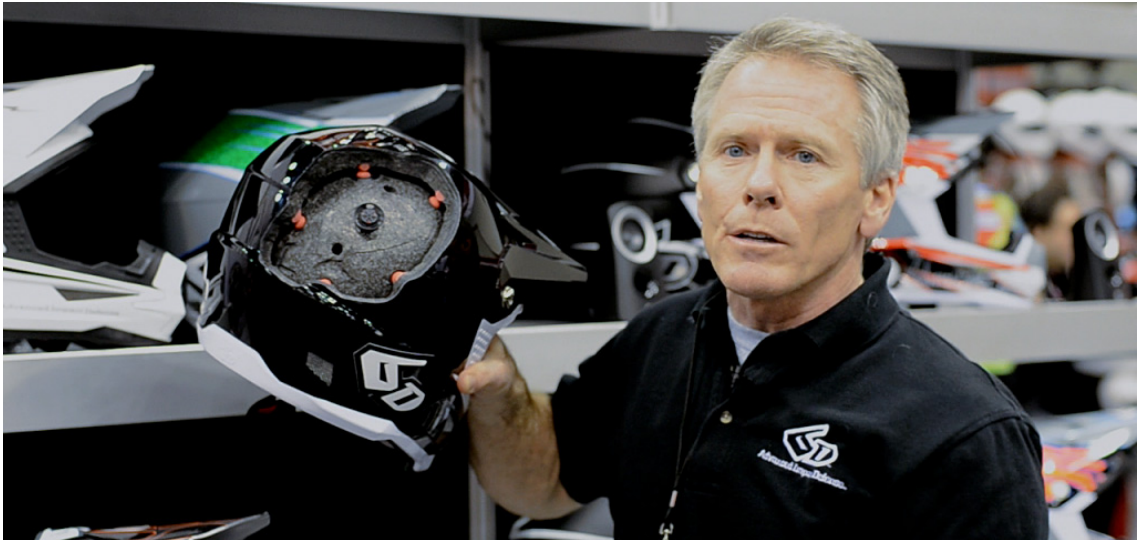
– Tällä hetkellä teetämme 3d-mallinnuksen pääosin ulkopuolisilla yrityksillä sekä täällä Kaliforniassa että tehtaalla Kiinassa. Itse asiassa teetämme myös pienempien 3D-tulostettujen osien prototyyppien tekemisen Kaliforniassa sijaitsevalla ulkopuolisella yrityksellä. Olemme siinä mielessä onnekaassa asemassa, että toimimme Etelä-Kaliforniassa, joka on auto-, moottoripyörä- ja polkupyöräteollisuuden voimakas keskittymä Yhdysvalloissa. Ympäriämme on paljon osaamista niin teknologian, valmistusmenetelmien kuin testaamisenkin suhteen ja käytämme sitä mielellämme hyväksi. Toki aikomuksemme on tulevaisuudessa hankkia valtaosa tarvitsemastamme osaamisesta saman katon alle, jotta ratkaisujen löytyminen ja tuotekehitysprosessimme nopeutuisi, mutta vielä se ei ole mahdollista, Reisinger toteaa.

Kysyin Reisingerilta kypärien sovittamisesta kansainvälisiin kypärästandardeihin.

– DOT, ECE22.05 molemmat hieman erilaisia standardeja. Jokaisessa on omat hyvät puolensa ja puutteensa. Yksikään standardi ei ole yksinään täysin kattava. Esimerkiksi ECE:ssä on iskunvaimennustestin hyväksymiraja 275 G noudattaa paremmin todellisia iskuja vaimentavia arvoja kuin DOT:n 400 G:tä. ECE:n huonona puoleena on taas läpäisytestin puuttuminen kokonaan. Oman kypäremme suunnitteluperiaatteena olemme pitäneet, että sen tulisi vähintäänkin täyttää sekä DOT- ja ECE22.05-standardit, joissa on kattava yhdistelmä testejä, Reisinger kertoo.

Kun kysyin, mikseivät he ole hankkineet Snell-standardia Reisinger perustelee seuraavasti: ”Snell standardia ei valvo valtio tai mikään muukaan instanssi, joten he voivat tehdä mitä haluavat. Heidän testinsä eivät sovellu kovinkaan hyvin moottoripyöräkypä-

rien ominaisuuksiin. Esimerkiksi heidän testissään kypärän tulisi säilyttää vaimennustasonsa ensimmäisen iskun jälkeen vielä sitä seuraavissa iskussa. Tämä edellyttää kovemman sisäkuoren käyttöä. Moottoripyöräilyonnettomuuksissa vauhti pysähtyy yleensä nopeasti ensimmäiseen isoon iskuun. Ymmärrän kyllä että autourheilunnettomuuksissa pää saattaa hakata useamman kerran esimerkiksi auton turvakaareen. Snellin standardeissa painotetaan kallon suojaamista ulkoisilta iskuilta, mutta aivojen suojaamista ei oteta kovinkaan hyvin huomioon. ”



Kuvio 12. Robert Reisinger ja 6D ATR-1 –kypärän läpileikkausmalli (The Moto Authority 2013)

Kun kysyin Reisingerin mielipidettä yksilöllisesti sovitettavasta kypärästä, joka hyödynnäisi 3D-tulostusta, ei hän torjunut ajatusta täysin, mutta esitti kuitenkin tekijöitä, jotka hänen mielestään asettaisivat haasteita konseptin toteuttamiselle.

– Teknologisesti katsottuna 3D-tulostuksen hyödyntäminen vaikuttaa mielenkiintoiselta ja osin perustellulta, mutta massavalmistamisen näkökulmasta ei kovinkaan perustellulta. 3D-tulostetun osan sovittaminen tehtaalla tapahtuvaan kypärän valmistukseen on haastavaa ja vaatii paljon suunnittelua, ettei jouduta poistumaan aiemmin mainitsemaltani mukavuusalueelta, Reisinger toteaa.

Reisingerin mukaan kypärän sisäkuoren päänmuodon määrittämisessä on paljon asioita ja sääntöjä, jotka pitää ottaa huomioon ja joista vain kypärävalmistajat ovat tietoisia. Kaikki se tieto tulisi saattaa ymmärrettävään muotoon ja lisäksi tulisi suunnitella käyttöliittymä, joka soveltuisi niin myymälässä tapahtuvalle skannaamiselle kuin skannatun tiedon vaivattomalle soveltamiselle 3D-tulostettavan palan määrittämiseksi.

– Jos kypärien yksilöllistä istuvuutta halutaan parantaa, ehkä järkevin tapa olisi tällä hetkellä valmistaa kypärä-aihiot, joka läpäisee testit ja johon voisi jälkikäteen sijoittaa eri muotoisia EPS-paloja sen mukaan, onko asiakkaan pää enemmän aasialaisen vai länsimaalaisen muotoinen.

Reisinger mainitsee myös oman näkemyksensä asiakaskäyttäytymisestä.

– Kuluttajat laittavat mielellään satoja, jopa tuhansia dollareita hiilikuituisiin pakoputkiin, jotka lisäävät muutaman hevosvoiman, mutta jossa ostamisen pääsyynä ovat kuitenkin vain hiilikuituvaimentimen ulkonäkö ja pyörän komeammat äänet. Jostain syystä kuluttajilla ei ole kuitenkaan halua panostaa kunnon kypärään. He perustelevat sitä sillä, että edullinen kypärä on läpäissyt samat testit kuin kallis kypärä, Reisinger toteaa.

3.7 Muita innovaatioiden lähteitä

Michael Pawlyn esitti TED Talk -puheessaan vuonna 2010 mielenkiintoisen kielikuvan: ”Luonto voidaan nähdä valtavana tuotekatalogina, jonka kaikki tuotteet ovat käyneet läpi 3,8 miljardin vuoden tuotekehitystyön.” (TED 2010)

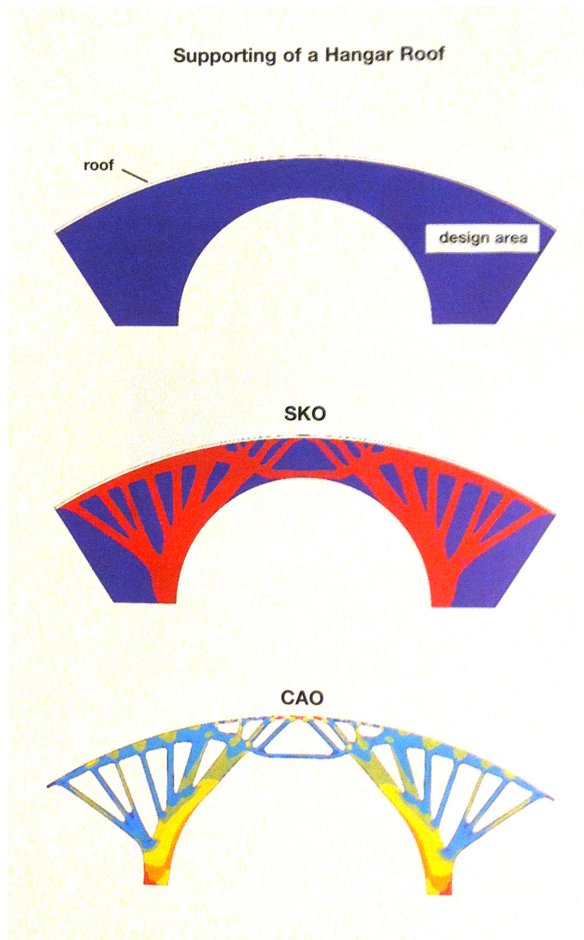
Inspiraatiota 3D-tulostettaville, vaimentaville kypärärakenteille kannattaisi hakea luonnosta niin mikroskooppitasolta kuin paljaalla silmällä havaittavalla tasolla. Luonnossa esiintyvät rakenteet noudattavat kaikessa organisuudessaan kuitenkin matemaattisia kaavoja kuten Fibonaccin lukujono. Fibonaccin lukujonossa jokainen numero on sitä edeltävien kahden luvun summa (1, 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21 jne.) (Lipson & Kurman 2013, 176). Puun rakenne rungosta oksiin, oksista lehtiin jne. noudattaa Fibonaccin lukujonoa. Pienistä rakenteista koostuu isoja rakenteita. Kyseinen rakenne olisi vartenotettava ratkaisu lineaarisesti iskuja vaimentavalle kypärän kuorelle. Lisäksi kannattaisi tutkia, löytyykö eläimistä tai ihmisestä jo valmiina iskuja vaimentavia fysiologisia rakenteita kuten nivelkierukat tai selän välilevyt, joita voitaisiin toistaa 3D-tulostimella ja soveltaa kypärässä. Vastavia rakenteita voisi etsiä myös esimerkiksi luonnonkorkista ja sammaleesta, joita on perinteisesti käytetty suojamateriaalina ja pehmusteena.

3.8 Luonto optimoi rakenteet

Luonnon ylivertaisten rakenteiden perään kuuluttaa myös saksalainen Fysiikan professori Claus Mattheck, joka on jo vuosikymmeniä tutkinut mm. puissa esiintyviä rakenteita ja rasitusvoimia sekä puiden kykyä sopeutua näihin voimiin kasvattamalla massaa sinne missä sitä tarvitaan. Hän skannasi tuhansien puiden leikkauskuvia ja yritti löytää syytä puiden sopeutumiskykyyn. Syytä ei löytynyt, mutta vuosien tutkimisen jälkeen hän huomasi kaikkien puiden noudattavan rakenteensa optimoinnissa samanlaista matemaattista kaavaa. Peruseriaatteena puissa syntyvissä rakenteissa on rasituskuorman jakaminen tasaisesti koko puun rakenteeseen, jolloin yksittäisiä rasituspisteitä ei ole. (Mattheck 1997)

Luita tutkimalla Mattheck puolestaan huomasi, että siinä missä puut lisäävät materiaalia rasituskohtiin, luut myös poistavat materiaalia sieltä missä sitä ei tarvita. Mattheck antoi ilmiölle nimen SKO (Soft Kill Optimization). Puissa ja luissa esiintyvien ilmiöiden matemaattisia kaavoja soveltaen syntyi lopulta tietokonekäyttöinen optimointijärjestelmä nimeltä CAO (Computer Aided Optimization). (Mattheck 1997.)

Kuviossa 14. on esitetty suunnitelmia hallin katon tukirakenteesta luonnon eri optimointimenetelmillä. Luiden käyttämällä SKO-menetelmällä alkuperäisestä rakenteesta on poistettu materiaali tarpeettomilta alueilta. Molempia luonnon optimointikeinoja, poistamista ja lisäämistä soveltavva CAO-optimoinnilla rakenteesta on saatu entistäkin kevyempi.



Kuvio 13. Hallin katon tukirakenne eri optimointimenetelmillä (Mattheck 1997, 228)

CAO-menetelmällä voidaan simuloida ja ennustaa niin puiden, luiden kuin muidenkin luonnossa esiintyvien rakenteiden muotoutumista ja soveltaa samaa periaatetta myös teollisuudessa käytettävien rakenteiden optimointiin. CAO-menetelmällä on toistuvasti saatu aikaan kestävämpiä ja kevyempiä rakenteita kuin perinteisillä ihmisen kehittämällä rakenteilla. (Mattheck 1997, VIII)

4 3D-TULOSTUKSEN MAHDOLLISUUKSIA MOOTTORIPYÖRÄKYPÄRIEN TUOTANNOSSA

Kyselyiden ja haastattelujen perusteella on ilmeistä, että 3D-massaräätälöidylle moottoripyöräkypärälle voisi olla kysyntää, mikäli se pystyttäisiin toteuttamaan kilpailukykyisellä hinnalla. Siksi onkin syytä analysoida eri tulostusvaihtoehtoja ja -materiaaleja sekä niiden toimivuuden että kustannustehokkuuden kannalta.

4.1 Laitteet ja ohjelmistot

Tällä hetkellä 3D-tulostimia on kahta päätyyppiä: yleisempi niistä on nauhamaista, nestemäistä materiaalia liikkuvaan sulatuspäähän syöttävä laite, joka tulostaa halutun muotoisen kohteen kerros kerrokselta. Toisen tulostinryhmän toiminta perustuu nestemäisen tai jauhemaisen raaka-aineen valikoivaan sitomiseen joko jonkin sideaineen tai laser- tai UV-säteilyn avulla.

Nykyisillä ohjelmistoilla ei pystytä 3D-tulostamaan eri materiaaleista koostuvaa kypärää, vaikka osa laitteistoista pystyisikin syöttämään useita materiaaleja samaan aikaan (Lipson & Kurman 2013, 70). Niinpä tällä hetkellä 3D-tulostusta on mielekkäintä soveltaa kypärän EPS-sisuksen valmistamiseen.

Nykyisistä 3D-tulostimista muovia tai muuta materiaalia pursottava laite on materiaali-tehokkain. Koska kypärän sisäosat eivät jää näkyviin, ei kerrostulostuksen huonohko pintaviimeistely ole ongelma. Uusilla, simulaattoreilla optimoiduilla rakenneratkaisuilla – esim. solurakennetta muuntelemalla – voitaisiin materiaalikustannuksia mahdollisesti pienentää ja samalla parantaa EPS-sisuksen iskunvaimennuskykyä.

4.2 Tulostumateriaalit

3D-tulostus materiaaleja kehitetään jatkuvasti. Metallin tulostus on kehittynyt jo sen verran pitkälle, että se alkaa pian olla perusteltu valmistusmuoto pienempien sarjojen tuotteissa. Kypärän iskuja vaimentavassa kuorirakenteessa metallia ei kuitenkaan kannata käyttää, joten keksitymme muovisiin tulostusmateriaaleihin.

Muovituotteiden tulostamisessa yleisimmin käytetyt materiaalit ovat ABS- ja PLA-muovi. Molemmat ovat lämpömuovattavia ja niitä voidaan myös lämmittää ja muovata useita kertoja.

ABS-muovi on varsin yleisesti käytetty materiaali myös nykyajan tuotantomenetelmillä. Sitä voidaan työstää monella tavalla, kuten lämpömuovaamalla, painemuovaamalla, ruiskupuristamalla, sahaamalla, poraamalla sekä liittää yhteen mm. ultraäänihitsaamalla, hitsaamalla ja liimamalla. 5-15€/kg ja Suomessa pieni Lukuisista käyttökohteista huolimatta ABS on kallista etenkin 3D-tulostuksessa. Kiinasta 3D-tulostimeen tarkoitettua ABS-muovia voi ostaa hintaan 5-15 €/kg (Alibaba 2013), mikä on laskettu suurille

tuotantomäärille, ei muutamille rullille. Suomessa kilon ABS rullasta saa maksaa 32–40 euroa.

PLA-muovi on ekomuovi, jota valmistetaan mm. maissista, perunasta ja sokerijuuresta. Rakenteeltaan PLA on kovempaa ja jäykempää kuin ABS. PLA on kertakäyttöinen muovi, joka hajoaa ajan myötä n. ja sitä käytetäänkin varsin yleisesti mm. elintarviketeollisuuden pakkauksissa, biomuovipusseissa, sekä kirurgisissa toimenpiteissä ruuveina ja proteeseina, jotka sulavat vähitellen, n. kuudessa kuukaudessa. PLA-muovia ei hajoa kotikäyttöisissä komposteissa vaan siihen tarvitaan teollisia kompostilaitoksia.

Belgialainen 3D-tulostusmateriaaleja ja -ohjelmistoja valmistava yritys Materialise on julkaissut vuonna 2013 joustavan 3D-tulostusmateriaalin nimeltä TPU 92A-1, joka on ns. lämpömuovattavaa polyurethaania. Materiaalilla on joustavuuden lisäksi loistavat rasituksen kesto- ja palautumisominaisuudet. Toistaiseksi materiaalia on käytetty muodin puolella, yksilöllisten mekkojen ja asusteiden tekemiseen. (Materialise 2013.)



Kuvio 14. Iris Van Herpenin suunnittelema 3D-tulostettu mekko (Franky 2013).

3D-tulostettavista muovimateriaaleista Materialisen TPU92A-1 vaikuttaa hyvältä vaihtoehdolta kypärän kuoren rakennekokeilukappaleisiin. Mutta sitä voidaan tulostaa vain sintraamalla, mikä vaatii panostamista tuotantotilaan ja korkealuokkaiseen tulostimeen.

Toki kuorirakenteen kokeilukappaleita voidaan tulostaa myös tulostuspalveluissa, joissa on tarvittavat puitteet. Mikäli kuoren tulostuskokeiluja haluaa tehdä itsekseen, ABS on tällä hetkellä paras vaihtoehto. ABS:n jäykkyys ei tosin ole tähän tarkoitukseen optimaalisin, mutta sitä voidaan kompensoida joustavilla rakenteella.

4.3 3D-tulostus tuotantoprosessin uudistajana

Kypärävalmistajien kannattaisi mielestäni aloittaa 3D-tulostettujen kypärien koevalmistus nykyisellä tulostusteknologialla, toisaalta nähdäkseen asiakkaiden reaktiot ja toisaalta kehittääkseen kypärien rakenteita. On todennäköistä, että 3D-kokeiluilla kypärävalmistajat saisivat arvokasta tietoa ilman merkittäviä sijoituksia.

3D-kokeilun avulla voitaisiin entistä tehokkaammin reagoida mm. rotuerojen synnyttämiin muotoilutarpeisiin. Kypärävalmistajat voisivat perustaa maakohtaisesti tai kuhunkin maanosaan kuten Eurooppaan ja Pohjois-Amerikkaan esim. kymmenellä korkealaatuisella 3D-tulostimella varustetut minitehtaat, joissa tulostettaisiin kunkin maanosan asiakkaille yksilöllisiä kypärämalleja. Yksilöllisten kypärien kysynnän lisääntyessä minitehtaita voitaisiin sijoittaa tiuhemmin, esim. Etelä-Eurooppaan omansa, Keski-Eurooppaan ja Skandinavian samoin jne.

Isoilla kypärävalmistajilla olisi tietysti parhaat resurssit hankkia kaikkein kehittyneimpiä 3D-tulostimia. Merkittävimmillä kypärävalmistajilla on myös omat edistykselliset testilaboratorionsa, joissa kypärien turvallisuus- ja toiminnallisuusominaisuuksia voidaan tutkia. Isoilla valmistajilla ei kuitenkaan ole välttämättä tarvetta uudistaa tuotantoteknologiaansa. Sen sijaan pienet kypärävalmistajat tai täysin uudet toimijat voisivat melko riskittömästi lähteä soveltamaan 3D-tulostusta moottoripyöräkypärien valmistukseen. Omien testilaboratioittensa sijaan pienet toimijat voisivat käyttää hyväkseen esimerkiksi yliopistojen ja teknillisten korkeakoulujen tarjoamia testipalveluita.

Monilla muilla aloilla 3D-tulostettujen tuotteiden kopiointi tulee olemaan ongelma, mutta tuskin kypäräteollisuudessa. Ulkomuotoja voidaan toki kopioida, mutta kypärän sisäisiä rakenteita on vaikea skannata ja toistaa. Kunkin kypärävalmistajan monimutkaisten sisärakenteiden "DNA" olisi edelleen mahdollista pitää salaisuutena.

Kypäräyrityksistä löytyy jo nykypäivänäkin vahvaa 3D-osaamista, sillä 3D-mallintaminen on merkittävässä roolissa perinteisin menetelmin valmistettavien kypärien tuotekehityksessä. Jos pienet yritykset lähtevät kehittämään 3D-tulostettuja

kypäriä, pakottaa se ennen pitkään myös isommat valmistajat valjastamaan 3D-tulostuksen kypäriensä valmistamiseen. Pienemmät kypäräfirmat voisivat palvelutason varmistamiseksi teettää kypäriä oman reseptinsä mukaisesti alihankintana, pienistä 3D-tulostuspajoista koostuvan maan-, maanosan- tai jopa maailmanlaajuisen verkoston avulla. Tämä edellyttäisi luonnollisesti tiukkaa linjaa piraattituotannon estämiseksi.

Vaikeakäyttöiset 3D-mallinnusohjelmat ovat tällä hetkellä suurin 3D-tulostamisen valankumousta pidättelevä tekijä. Mallinnusohjelmia ei nimittäin ole suunniteltu varsinaisesti 3D-tulostamista varten vaan pikemminkin nykyisten suunnittelijoiden ja muotteihin perustuvan massatuotannon tarpeisiin. Useimmat ohjelmat pohjautuvat 90-luvulla kehitettyihin 3D-ohjelmiin sekä jo 80-luvulla luotuihin 3D-formaatteihin, kuten STL, joka ei toimi täysin saumattomasti 3D-tulostimen kanssa. Siinä vaiheessa kun ohjelmat tulevat helppokäyttöisiksi ja perustuvat enemmän käyttäjänsä intuitioon kuin 3D-osaamiseen, uusien luovien ratkaisujen syntyminen on todennäköisempää ja 3D-tulostus yleistyy nopeasti. (Lipson & Kurman 2013, 39-40.)

Prosessi tulee todennäköisesti muistuttamaan älypuhelimien maailmanvalloitusta. Kun Apple kehitti iPhonea, jota pystyi käyttämään intuition johdantelemana lukematta ohjeita ja lisäksi kasvattamaan sen perustoimintoja erilaisilla sovellutuksilla, älypuhelinmarkkinat lähtivät hurjaan nousuun.

5 YHTEENVETO

On todennäköistä että joskus tulevaisuudessa moottoripyörä- ym. kypäriä tullaan valmistamaan kokonaan 3D-tulostamalla ilman että tarvitaan minkäänlaista kokoonpanoa. Siihen saattaa mennä 10, 20 tai jopa 30 vuotta, mutta mielestäni koskaan ei ole liian aikaista aloittaa.

Kuviossa 14. olen SWOT-analyysin avulla kartoittanut tämän hetkisen tilanteen 3D-tulostuksen soveltamisessa yksilöllisesti istuvien moottoripyöräkypärien valmistukseen. Analyysissä vahvuuksiin sijoittuvat tällä hetkellä 3D-tulostuksen hyväksi tiedetyt puolet ja mahdollisuuksiin taas 3D-tulostuksen hyödyt kypäränvalmistamisessa. Heikkouksiin on lähinnä 3D-tulostusteknologian puutteet tässä hetkessä. Kypäräkonseptin toteuttaminen ei siis ole vielä perusteltua ennen kuin 3D-tulostusteknologia kehittyy.

**SWOT-ANALYYSI: 3D-TULOSTUKSEN SOVELTAMINEN
YKSILÖLLISESTI ISTUVIEN MOOTTORIPYÖRÄKYPÄRIEN VALMISTUKSEEN**

VAHVUUDET (STRENGTHS)	HEIKKOUEDET (WEAKNESSES)
<ul style="list-style-type: none"> - pienemmät aloituskustannukset kuin nykyisissä kypäränvalmistusmenetelmissä - ei muottitekniisiä rajoitteita - vähemmän valmistuksen välivaiheita - vähemmän hukkamateriaalia - tarvitaan vähemmän asiantuntijoita tuotannon aloittamiseen ja valvomiseen - yksilöllisten ja monimutkaisten muotojen tekeminen samanhintaista kuin toistuvan ja yksinkertaisen muodon - 3D-tulostusteknologia kehittyä vauhdilla 	<ul style="list-style-type: none"> - 3D-tulostusteknologian aikainen kehitysvaihe - materiaalin toistaiseksi korkea hinta - tulostusprosessin hitaus - 3D-mallinnusohjelmia ja tiedostomuotoja ei ole optimoitu 3D-tulostamiseen - monimateriaalitulostaminen vaatii vielä kehitystä
MAHDOLLISUUDET (OPPORTUNITIES)	UHAT (THREATS)
<ul style="list-style-type: none"> - Sisäkuorimuottien tarpeen ja muottikustannusten vähentäminen - pienet tuotantosarjat mahdollisia - Logistiikan keventäminen, mahdollisuus valmistaa paikallisesti - yksilöllisen istuuvuden parantaminen - uusilla rakenteilla saavutettavissa kuorien paremmat turvaominaisuudet - rajaton materiaalien ja ominaisuuksien valikoima - ekologisemmat materiaalit 	<ul style="list-style-type: none"> - 3D-tulostuksen tuotantoon valjastamista vastustavat asenteet

3D-tulostuksen läpimurtoon vaikuttaa ohjelmien käytön helpottuminen, jolloin tavalliset ihmiset voivat luovuuttaan käyttäen alkaa kehittää rakenteita. Teollisen muotoilijan tai insinöörin ei tarvitse odotella 3d-tulostuksen läpimurtoa tai ohjelmistojen kehittymistä, sillä heiltä löytyy osaaminen nykyisten, kankeampikäyttöisten ohjelmien käyttöön.

Vaikka tietotaitoa kypärien valmistamisesta ei alkuvaiheessa olisikaan yhtä paljon kuin suurilla kypärävalmistajilla, kypäristä kiinnostunut suunnittelija tai muu henkilö voi ilman merkittäviä aloituskustannuksia lähteä tutkimaan kypäränvalmistusta, hankkia puuttuvat tiedot ja tehdä samalla koepaloja ja ehkä jopa kokonaisia kypäräprotoja. Toki suunnittelija voisi myös hankkia rinnalleen lisää tietotaitoa esim. tutkimuslaitoksista ja ulkopuolisia rahoittajia, mutta se ei ole välttämätöntä.

Ensimmäisenä yksityinen henkilö tai yritys voisi lähteä kokeilemaan, minkälaisia muutoksia rakenneoptimointi simulaatio-ohjelmien avulla tuottaisi kypärien sisäkuoriin. Mikäli simulaatioiden kautta löytyisi rakenteita, jotka toimisivat yhtä hyvänä tai parempana vaimentimena kuin EPS-materiaali, pieniä koepaloja voisi tulostaa nykyisillään ohjelmilla ja tekniikoilla joko useammasta tai vain yhdestä materiaalista. Mikäli rakennesimulaatiot eivät tuota tuloksia, rakenteita voisi etsiä sekä luonnosta että muista jo olemassa olevista ihmisen keksimistä ratkaisuista.

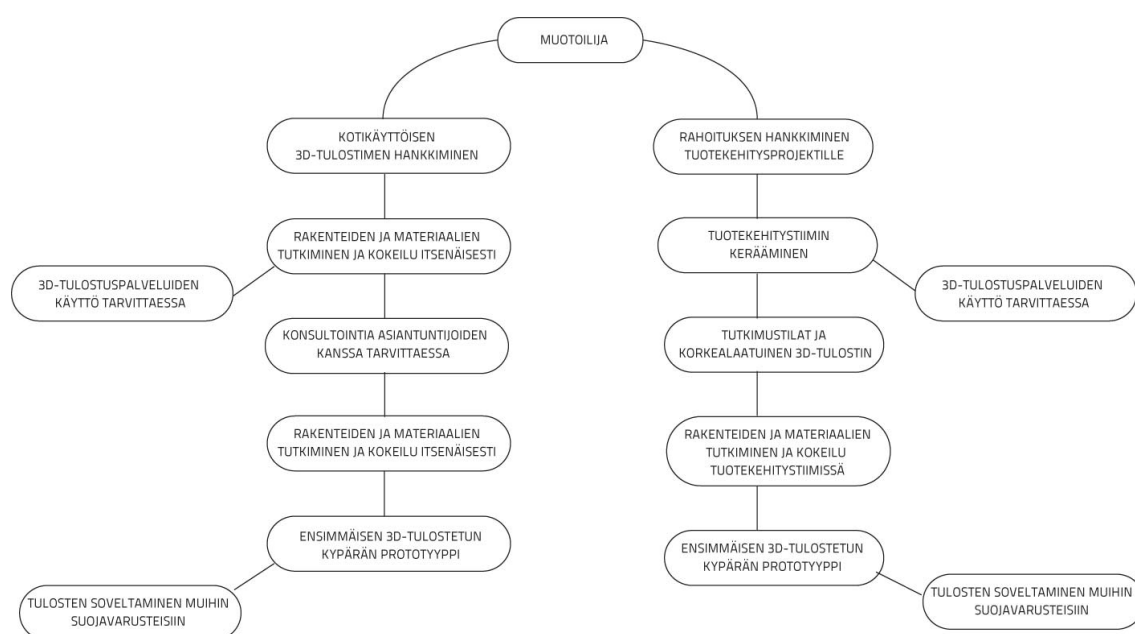
Jos jatkuva teoreettinen tutkiminen tylsistyy, suunnittelija voisi tehdä 3D-skannauksen sellaisen henkilön päästä, jolla on vaikeuksia löytää sopivaa kypärää, ja yrittää valmistaa koehenkilölleen istuvan kypäräprototyypin. Konkreettisesta tekemisestä saisi oppia paljon ja nopeasti.

3D-tulostusta voisi lähteä soveltamaan myös moottoripyöräsuojavarusteiden muille alueille, kuten polvitukien ja niskatukien valmistukseen. Antaisiko CAO-rakenneoptimointi jotain uutta näiden tuotteiden tekemiseen? Kypärään verrattuna nämä tuotteet ovat rakennevaatimuksiltaan helpompia, sillä ne koostuvat lähinnä jäykistä runkorakenteista sekä nivelrakenteista.

Nykypäivänä 3D-tulostimilla tehdään jo juoksulenkareita. 3D-tulostusta voisi hyvin soveltaa myös ajosaappaiden valmistamiseen, jotka jo nykypäivänä koostuvat monilta osin jäykistä ja joustavista muoviosista.

Kaikissa edellä mainituissa tuotteissa yksilöllisyys olisi merkittävä etu, jota ei nykypäivänä ole polvitukia lukuun ottamatta tarjolla. Jos polvituet, niskatuet ja ajosaappaat voitaisiin valmistaa yksilöllisesti, säätöominaisuuksia voitaisiin riisua, jolloin tuotteista saataisiin huomattavasti kevyempiä, yksinkertaisempia ja ekologisemmin valmistettuja.

Kuviossa 15. on esitetty kaksi eri reittiä, jolla muotoilija voisi lähteä kehittämään 3D-tulostetun kypärän protomallia. Ensimmäisessä vaihtoehdossa muotoilija hankkii 3D-tulostimen ja alkaa itseksensä tutkimaan ja kehittämään rakenteita ja käyttää tarvittaessa asiantuntijoita ja tulostuspalveluja apuna. Toisessa vaihtoehdossa muotoilija lähtee ensimmäiseksi hakemaan rahoitusta tuotekehitysprojektille. Mikäli rahoitus järjestyy, hän kerää tuotekehitystiimin, hankkii tutkimustilat ja kunnollisen 3D-tulostimen, minkä jälkeen alkaa tuotekehittäminen. Ensimmäisessä vaihtoehdossa etuna on pienempi aloituskynnys ja aikaisin työn pariin pääseminen. Jälkimmäisessä vaihtoehdossa alun järjestelyjen jälkeen kehitystyö etenee nopeammin ja saadaan todennäköisesti parempia tuloksia kuin ensimmäisessä vaihtoehdossa.



Kuvio 15. Muotoilijan vaihtoehdot 3D-tulostusta hyödyntävän kypärän kehittämiseksi

Tutkimuksen alusta asti suurimpana epävarmuustekijänä 3D-tulostuksen valjastamisessa moottoripyöräkypärien maassavalmistukseen on ollut 3D-tulostuksen teknologiset puutteet tällä hetkellä. Tutkimus on kuitenkin osoittanut, että tulostusteknologian lisäksi 3D-tulostuksen ympärillä on suurempi, useista tekijöistä, kuten uusista suunnittelutavoista, rakenteista, asenteista ja toimintaympäristöstä koostuva kokonaisuus, jota voidaan lähteä kehittämään jo tässä vaiheessa. Aikaisin liikkeelle lähteminen sekä teoreettisen tutkimisen että käytännön kokeilujen kautta toisaalta nopeuttaa 3D-tulostuksen kehitystä, mutta saattaa myös tuottaa yllättäviä ratkaisuja, joita voidaan hyödyntää millä tahansa teollisuuden tai elämän osa-alueella.

Lähteet

- 1 6D Helmets 2013. 6D Helmets [verkkodokumentti] <http://www.6dhelmets.com/#!/press-kit/c2417> (luettu 1.11.2013)
- 2 Alibaba 2013. [verkkodokumentti] <http://www.alibaba.com/showroom/abs-plastic-for-3d-printer.html> (luettu 23.11.2013)
- 3 All Right Europe Oy 2013. [verkkodokumentti]
- 4 AN-Cadsolutions 2013. David 3D-skanneri. [verkkodokumentti] <http://www.an-cadsolutions.fi/fi/david-3d-skanneri> (luettu 8.11.2013)
- 5 AP photo 2013. Quartz. [verkkodokumentti] <http://qz.com/96109/stratasys-just-acquired-makerbot-the-one-3d-printing-firm-that-could-have-disrupted-it/> (luettu 22.11.2013)
- 6 Bird, Jim 2013. Custom-Fit Bicycle Helmet. [verkkodokumentti] <http://jimbird.net/index.php/showcase/item/1-custom-fit-bicycle-helmet> (luettu 30.8.2013)
- 7 Delft University of Technology 2011. 3D scans make Chinese helmets fit properly. [verkkodokumentti] <http://phys.org/news/2011-05-3d-scans-chinese-helmets-properly.html> (luettu 29.8.2013)
- 8 Dynalab 2013. Plastic Properties Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS). [verkkodokumentti] http://www.dynalabcorp.com/technical_info_abs.asp (luettu 17.11.2013)
- 9 Evill, Jake 2013. Jakevilldesign. [verkkodokumentti] <http://jakevilldesign.dunked.com/cortex> (luettu 2.11.2013)
- 10 Franky 2013. [verkkodokumentti] <http://i.materialise.com/blog/entry/flexible-3d-printed-fashion-hits-the-catwalk-with-iris-van-herpen-julia-koerner-and-materialise> (luettu 2013)
- 11 Geomagic 2013. 3D Scanners – a guide to 3D scanners. [verkkodokumentti] <http://www.rapidform.com/3D-scanners/> (luettu 15.11)
- 12 Gizmag 2013. Gizmag. [verkkodokumentti] <http://www.gizmag.com/kranium-cardboard-helmet-available/25788/pictures#3> (luettu 9.11.2013)
- 13 Hewitt, John 2013. Extreme tech. [verkkodokumentti] <http://www.extremetech.com/extreme/143552-3d-printing-with-metal-the-final-frontier-of-additive-manufacturing> (luettu 22.11.2013)
- 14 Ilminen, Gary 2013. Motorcycle helmet standards explained: DOT, ECE 22.05 & Snell. [verkkodokumentti] <http://ultimatemotorcycling.com/motorcycle-helmet-standards-explained-dot-ece-22-05-snell/> (luettu 9.11.2013)

- 15 Lipson, Hod & Kurman, Melba 2013. Fabricated: The New World Of 3D-printing. Indianapolis: Jon Wiley & Sons, Inc
- 16 Logistiikan Maailman 2013. Massaräätälöinti. Logistiikan maailma. [verkkodokumentti] <http://www.logistiikanmaailma.fi/wiki/Massaräätälöinti> (luettu 9.11.2013)
- 17 Materialise 2013. Launch of the First Fully-functional Flexible Material in 3D Printing. [verkkodokumentti] <http://www.materialise.com/press/launch-of-the-first-fully-functional-flexible-material-in-3d-printing> (luettu 21.11.2013)
- 18 Mattheck, Claus 1997. Design In Nature – Learning From Trees. New York: Springer
- 19 Morales Cantu, Karíná & Wisalchai Jonsson, Erik 2012. 3D Printing For End Products. Master Thesis. Uppsala University. [verkkodokumentti] <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:534968/FULLTEXT01.pdf> (luettu 28.8.2013)
- 20 Scott Sports 2013. Bike Magic. [verkkodokumentti] <http://bikemagic.com/gear/scott-goes-650b27-5in-with-2013-genius-resurrects-syncros.html> (luettu 21.11.2013)
- 21 Snell 2013. Testing. Snell Foundation. [verkkodokumentti] <http://www.smf.org/testing> (luettu 13.11.2013)
- 22 Surabi, Anirudha 2013 Anirao. [verkkodokumentti] http://anirao.com/project_helmets/project_helmets.php (luettu 20.11.2013)
- 23 Pawlyn, Michael 2010. Using nature's genius in architecture . [verkkodokumentti] http://www.ted.com/talks/michael_pawlyn_using_nature_s_genius_in_architecture.html (luettu 11.11.2013)
- 24 The Moto Authority 2013 [verkkodokumentti] <http://themotoauthority.com/a-look-at-6d-atr-1-helmet/> (luettu 18.11.2013)
- 25 Webbikeworld.com 2010. DOT vs. ECE Motorcycle Helmet Safety Standards. Youtube [verkkodokumentti] <http://www.youtube.com/watch?v=Ci3br1PJ5-g> (luettu 14.11.2013)
- 26 Wohlers, Terry 2013. Wohlersassociates. [verkkodokumentti] <http://wohlersassociates.com/blog/2012/07/why-most-adults-will-never-use-a-3d-printer/> (luettu 2.11.2013)
- 27 Yemm & Hart 2013. [verkkodokumentti] Wohlers, Terry 2013. Wohlersassociates. [verkkodokumentti] <http://wohlersassociates.com/blog/2012/07/why-most-adults-will-never-use-a-3d-printer/> (luettu 4.11.2013)

Käyttäjätutkimuslomake

Liite sisältää käyttäjätutkimuksen kyselylomakkeen.



KYPÄRÄN ISTUVUUS -TESTILOMAKE

testihenkilö nro . _____ mies nainen pvm. _____

Ikä: _____ vuotta

Kokemus / aktiivisuus kuljettajana: _____

KYSYMYKSET

1. Tuntuiko jokin kypärävaihtoehto erityisen epämiellyttävältä kun se oli päässä? Kuvaile.

kyllä kypärä 1. kypärä 2. kypärä 3.
ei

Lisätietoja: _____

2. Istuiko jokin kypärävaihtoehto erityisen hyvin? Kuvaile.

kyllä kypärä 1. kypärä 2. kypärä 3.
ei

Lisätietoja: _____

3. Kuinka merkittävä turvallisuustekijä kypärän oikea istuvuus mielestäsi on?

4. Mikä ovat tärkeimpiä tekijöitä moottoripyöräkypärää hankittaessa? Istuvuus, hinta, ulkonäkö, merkki? Luettele tärkeysjärjestyksessä.

5. Mitä mieltä olisit yksilöllisesti istuvasta kypärästä? Olisitko valmis maksamaan enemmän? Kuinka paljon?

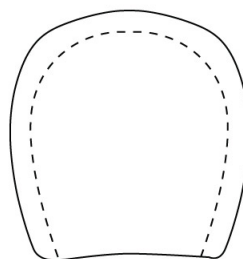
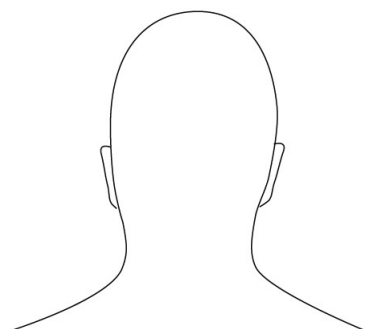
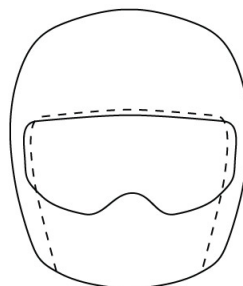
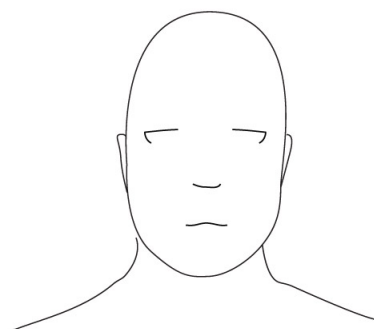
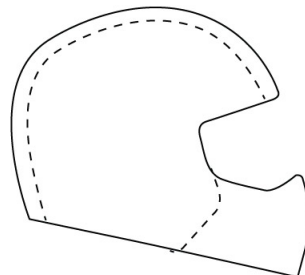


Merkitse rastilla joko pää- tai kypäräpiirroksen kohta, joka tuntui epämiellyttävältä.

Kypärä 1. =

Kypärä 2. =

Kypärä 3. =



Koehenkilö nro. _____

kypärävaihtoehto nro. _____

