



TAMPEREEN
AMMATTIKORKEAKOULU

SUUNNITTELU 3D-TULOSTIMELLE NX CAD - OHJELMISTOLLA

Niklas Peltonen

Opinnäytetyö
Toukokuu 2018
Konetekniikka
Älykkäät koneet ja laitteet



TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Konetekniikan koulutus
Älykkäät koneet ja laitteet

PELTONEN, NIKLAS:

Suunnittelu 3D-tulostimelle NX-CAD ohjelmistolla

Opinnäytetyö 30 sivua, joista liitteitä 0 sivua
Toukokuu 2018

3D-tulostus on jatkuvasti yleistynyt valmistusmenetelmä, jota käytetään useilla eri teollisuuden aloilla. Valmistusmenetelmänä 3D-tulostus poikkeaa merkittävästi perinteisistä materiaalia poistavista menetelmistä, sillä se on pääsääntöisesti materiaalia lisäävä valmistusmenetelmä.

Valmistusmenetelmän erityislaadusta johtuen 3D-tulostamalla valmistettävien kappaleiden suunnittelussa on otettava huomioon hieman eri asioita kuin esimerkiksi lastuavassa työstössä. Mahdollisesti oleellisin huomioitava seikka on se, että kappaleet rakentuvat pääsääntöisesti alhaalta ylöspäin valmiin kappaleen poikkileikkauksen mukaisina kerroksina, jolloin joidenkin muotojen alle on tulostettava tukimateriaalia, jotta tulostaminen on mahdollista.

Monissa tapauksissa 3D-tulostettavien kappaleiden geometriat ovat kuitenkin vapaampia materiaalia poistavaan valmistukseen verrattuna, sillä 3D-tulostamalla voidaan valmistaa esimerkiksi sisäisiä rakenteita ja kevyitä verkkorakenteita, joiden valmistaminen perinteisillä valmistusmenetelmillä on mahdotonta. Monet CAD-ohjelmistojen valmistajat tarjoavatkin nykyään valmiita työkaluja 3D-tulostettaville kappaleille ominaisten rakenteiden suunnitteluun. Uusimpiin Siemens NX -ohjelmistoihin on saatavilla valmiita työkaluja niin 3D-tulostettavien kappaleiden suunnitteluun kuin niiden tulostamiseen.

Siemens NX -ohjelman soveltuvuutta 3D tulostettavien kappaleiden suunnitteluun tutkittiin mallintamalla kolme esimerkkikappaletta. Ensimmäiset kaksi suunniteltiin muodostamaan niin kutsutuista biomimiikka ja Lattice -rakenteista ja kolmas sisäkkäisistä toroid-rakenteista. Tässä opinnäytetyössä ei ollut käytettävissä edellä mainittuja työkaluja, vaan kappaleiden suunnittelua tutkittiin NX10 ja NX11 -ohjelmistojen perustoiminnoilla. NX:n todettiin olevan varsin toimiva ohjelmisto 3D-tulostettavien kappaleiden suunnitteluun myös pelkkiä vakiotoimintoja käyttäen.

ABSTRACT

Tampereen Ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Mechanical Engineering
Intelligent Machines

PELTONEN, NIKLAS:
Design for Additive Manufacturing using NX CAD software

Bachelor's thesis 30 pages, appendices 0 pages
May 2018

Additive manufacturing, which is commonly known as 3D printing, is a constantly growing manufacturing method in several industries. As a way of manufacturing, 3D printing differs significantly from the traditional methods as it is based on adding material rather than removing it.

Due to the differences in the manufacturing process, different aspects need to be taken into account when designing objects that are meant to be 3D printed. One of the key elements is that in most 3D printing processes the object is created layer by layer from the bottom and therefore certain shapes require a support structure to be printed underneath them to enable successful construction of the object.

In many cases, however, the geometries of 3D printed objects are less restricted compared to traditional material removing manufacturing methods, because 3D printing enables the creation of internal geometries within the same object and lightweight lattice structures, to mention a few common examples. Today many CAD software developers, including the latest versions of Siemens NX, offer tools especially designed for designing and manufacturing 3D printed objects.

The applicability of Siemens NX for designing 3D printed objects was studied by modelling three example objects. The objects were designed to include geometries known as biomimicry, lattice structure and toroidal shapes. For this thesis the said tools were not available and thus the example designs were created using the basic tools and commands of Siemens NX10 and NX11. As a result, Siemens NX was found to be quite versatile and well-suited for designing for 3D printers, even without specially designed tools and commands.

Key words: additive manufacturing, 3D printing, CAD, design

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
2	TIETOKONEAVUSTEINEN SUUNNITTELU	7
	2.1 Parametrinen mallintaminen	7
	2.2 Suoramallinnus (Direct Modelling)	8
	2.2.1 Siemens NX Synchronous modelling	9
	2.3 Topologian optimointi	10
3	PIKAMALLINNUS / 3D-TULOSTUS	11
	3.1 Pikamallinnettavan kappaleen suunnittelu.....	12
	3.1.1 Tukirakenteiden tarve.....	12
	3.2 Pikamallinnusmenetelmät	13
	3.2.1 Fused Deposition Modelling (FDM).....	14
	3.2.2 Direct Metal Laser Sintering (DMLS)	14
	3.2.3 Selective Laser Melting (SLM).....	15
4	ESIMERKKIKAPPALEIDEN MALLINTAMINEN NX-OHJELMISTOLLA 16	
	4.1 Lävistimen kahva, biomimiikka	16
	4.2 Lävistimen kahva, verkkorakenne (Lattice)	20
	4.3 Toroid-kappale.....	24
5	POHDINTA.....	29
	LÄHTEET.....	30

LYHENTEET JA TERMIT

CAD	Computer Aided design, tietokoneavusteinen suunnittelu
Solid	3D-mallissa oleva yhtenäinen rakenne
Sketsi	Kaksiulotteinen luonnos, jonka pohjalta luodaan kolmiulotteisia piirteitä
Taso	3D-mallinnuksessa kaksiulotteinen taso, jolle pursotettava sketsi luodaan

1 JOHDANTO

Pikamallinnus, joka tunnetaan yleisemmin 3D-tulostamisena, on jatkuvasti yleistynyt valmistusmenetelmä useilla teollisuuden aloilla. Toisin kuin perinteisissä, materiaalia poistavissa valmistusmenetelmissä, pikamallinnuksessa kappaleet luodaan pääsääntöisesti lisäämällä materiaalia kerros kerrokselta, kunnes saavutetaan kappaleen haluttu geometria.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli löytää parhaat toimintatavat pikamallinnettavien kappaleiden suunnitteluun Siemens NX CAD -ohjelmistolla. Erityisesti tutkittiin sellaisten geometrioiden suunnittelua, joiden valmistus perinteisillä materiaalia poistavilla menetelmillä on mahdotonta, kuten sisäkkäiset rakenteet, verkkorakenteet sekä niin kutsutut biomimiikka-muodot.

Näiden toimintatapojen selvittämiseksi päätettiin esimerkkikappaleet, joiden mallintamiseen luotiin ohjeet. Työssä käydään läpi myös aiheen eri osa-alueiden teoriaa sekä tietokoneavusteisen suunnittelun että 3D-tulostamisen osalta.

Työssä tehdyt mallit luotiin suurimmaksi osaksi käyttäen NX 10 -ohjelmistoa. Uudempiin versioihin on saatavilla lisäosia, jotka on tarkoitettu erityisesti pikamallinnuksessa tyypillisten muotojen, kuten lattice-rakenteen luomiseen. Käytettyyn versioon vastaavia toimintoja ei ole saatavilla, joten kaikki mallinnus tehtiin käyttäen ohjelmiston perustoimintoja.

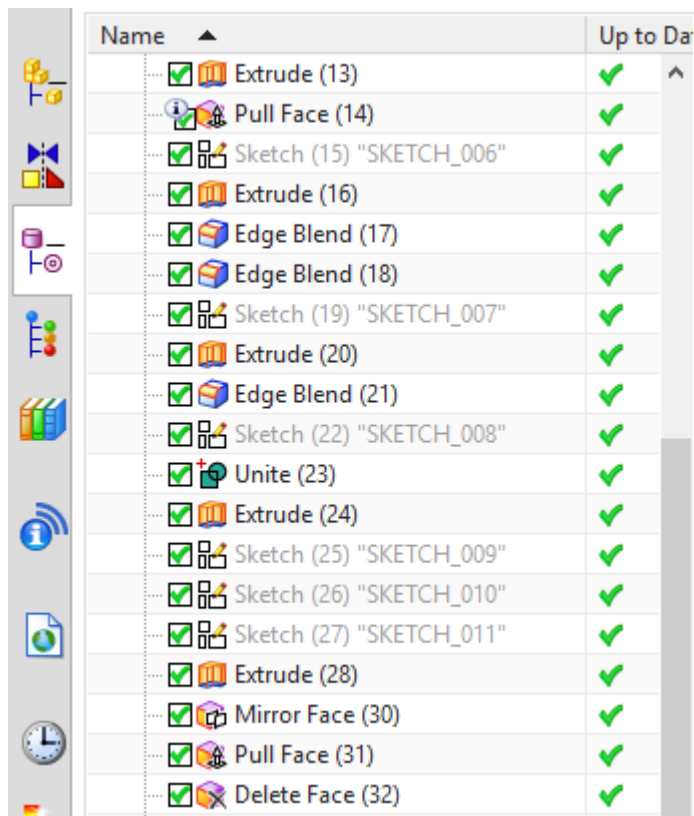
2 TIETOKONEAVUSTEINEN SUUNNITTELU

Tietokoneavusteisella suunnittelulla (Computer-Aided design tai CAD) tarkoitetaan suunnitteluprosessin tukemista tietokoneella sen eri vaiheissa. Vaikka CAD terminä sisältää todellisuudessa todella laajan kirjon erilaisia suunnitteluohjelmistoja suunnitteluprosessin eri vaiheisiin ja osa-alueisiin, useimmiten sillä tarkoitetaan niitä ohjelmistoja, joilla luodaan tuotteista kolmiulotteisia malleja sekä kaksiulotteisia valmistuspiirustuksia. (Pere 2012, 2-11.) Myös tässä opinnäytetyössä käytettäessä termiä CAD tai tietokoneavusteinen suunnittelu, tarkoitetaan mallinnus- ja koneenpiirustusohjelmistoja, ellei toisin mainita.

Johtuen sen lukuisista hyödyistä tietokoneavusteinen suunnittelu on lähes välttämätöntä modernissa tuotesuunnittelussa ja se onkin korvannut perinteisen käsin piirtämisen täysin. CAD mahdollistaa monimutkaistenkin tuotteiden ja konseptien suunnittelun nopeasti ja tehokkaasti, sillä suunnittelijat voivat ennen tuotteen valmistamista esimerkiksi luoda ja vertailla useita vaihtoehtoisia ratkaisumalleja, tarkastella kokoonpanojen yhteensopivuutta ja mekanismien toimivuutta sekä tehdä kappaleiden lujuustarkasteluja.

2.1 Parametrinen mallintaminen

Parametrisellä mallintamisella tarkoitetaan mallinnusmetodia, jossa mallinnettavan kappaleen piirteet linkitetään toisiinsa erilaisten parametrien ja muuttujien, kuten rajoitteiden ja mittojen avulla. Uudet piirteet luodaan ikään kuin vanhojen piirteiden päälle, jolloin minkä tahansa piirteen muuttaminen vaikuttaa mallissa sen jälkeen luotuihin piirteisiin. Ohjelmisto luo mallista niin kutsutun rakennepuun, jossa on kaikki mallin luomiseen käytetyt piirteet aikajärjestyksessä. Rakennepuu toimii siis ikään kuin mallin luomisohjeena, jonka avulla voidaan jälkikäteen esimerkiksi selvittää, miten malli on luotu ja tarvittaessa muuttaa oikeaa piirrettä. (Tornincasa & Di Monaco 2010, 6-7.) Esimerkki parametrisellä mallinnuksella luodun kappaleen piirrepuusta on esitetty kuvassa 1.



KUVA 1. Ote työssä tehdyn kappaleen piirrepuusta.

Parametrisen mallintamisen merkittävin etu on mallin helppo muokattavuus. Koska piirteet ovat toisiinsa linkitettyjä, yhden piirteen muuttaminen ei tarkoita sitä, että kaikki muut piirteet on luotava uudelleen vaan piirteiden väliset suhteet pysyvät ennallaan ja muokattu rakenne päivittyy automaattisesti.

Oikein käytettynä parametrinen mallintaminen on todella tehokas tapa luoda malleja, mutta sillä on myös haittapuolensa. Huonosti määritelty piirre saattaa tehdä muiden piirteiden muokkauksesta tai luomisesta mahdotonta. Tällaisten ongelmien välttämiseksi onkin erityisen tärkeää, että mallia luodessa ymmärretään luotujen piirteiden aiheuttamat mahdolliset rajoitteet mallintamisen myöhemmässä vaiheessa ja että tiedetään mitä piirteitä on mahdollisesti myöhemmässä vaiheessa muutettava. (Pere 2012, 2-19).

2.2 Suoramallinnus (Direct Modelling)

Suoramallinnuksella tarkoitetaan CAD-ohjelman kykyä käsitellä ja muokata suoraan mallin piirteiden geometriaa niiden luomiseen käytettyjen luonnosten ja parametrien sijaan. Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että mallia voidaan muokata esimerkiksi vetämällä

tai siirtämällä mallissa olevaa pintaa, reunaa tai muuta piirrettä ilman kaksiulotteisen luonnoksen luomista tai piirteen parametrien muuttamista. (Hakala 2015, s.16.)

Toisin kuin parametrisessa mallinnuksessa, jossa piirteiden luominen tallentuu rakennepuuhun historiatietona, suoramallinnuksessa tehtävistä muutoksista ei jää malliin tietoa. ”Historiavapaus” on hyödyllinen ominaisuus erityisesti monimutkaisia geometrioita luotaessa, sillä kun malliin ei jää piirteiden aiheuttamia rajoitteita sen muokkaaminen on todella joustavaa. Vaikka tuotteen mallintaminen suoramallinnuksella alusta alkaen onkin mahdollista, tavanomaisempi käytäntö on mallintaa tuote pääosin parametrisillä mallinnustyökaluilla ja käyttää suoramallinnustyökaluja lopullisten pintamuotojen ja yksityiskohtien viimeistelyyn.

Suoramallintaminen mahdollistaa myös sellaisten mallien muokkaamisen, jotka eivät ole käytössä olevan CAD-ohjelman natiivimalleja. Toisin sanoen eri ohjelmistoilla tehtyjen mallien muokkaaminen on mahdollista, sillä suoramallinnuksessa käsitellään mallin pintojen muotoja eikä yksittäisten piirteiden parametrejä, jotka voivat vaihdella huomattavasti eri CAD-ohjelmien välillä. (Hakala 2015, s. 20.)

2.2.1 Siemens NX Synchronous modelling

Synchronous modelling on Siemens NX:n suoramallinnustyökalu, jolla mallia voidaan muokata esimerkiksi toiminnoilla Move Face, Pull Face ja Delete Face. Move Face toiminnolla mallissa olevaa pintaa voidaan raahata eri suuntiin siten, että ympäröivä malli muokkautuu mukana. Toiminnolla voidaan myös muuttaa tasaisen pinnan kulmaa.

Pull Face toiminnolla mallin pinnasta voidaan raahata uusi, valitun pinnan muotoinen alue. Toiminto eroaa Move Face -toiminnosta siten, että olemassa oleva valittu pinta ei siis siirry vaan malliin ikään kuin pursotetaan uusi osa valitun pinnan avulla.

Delete Face -toiminnolla mallista voidaan poistaa tarpeeton tai haitallinen pinta. Toiminto yhdistää valitun pinnan ympärillä olevat pinnan yhteen halutun pinnan poistamiseksi, joten toiminto ei toimi kaikissa tilanteissa johtuen siitä, että joissain tapauksissa ympäröiviä pintoja ei ole mahdollista yhdistää. Työtä tehdessä Delete Face todettiin monissa tapauksissa varsin hyödylliseksi työkaluksi, sillä erityisesti suoramallinnuksella luotuja haastavia

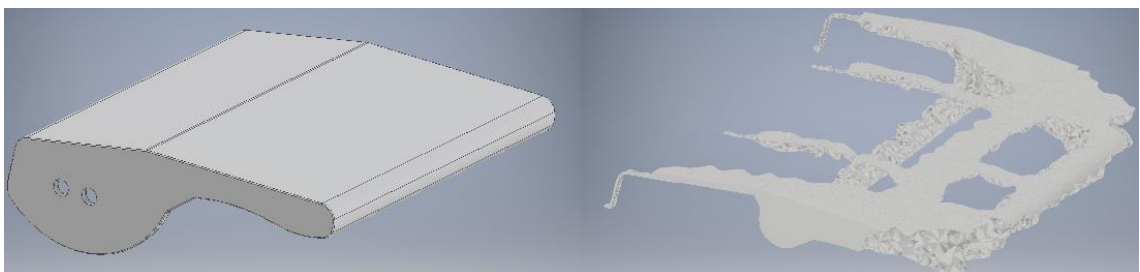
pintoja tehdessä malliin syntyi pieniä, tasaisia pinta-alueita, jotka rikkovat muotojen jouhevuu-
 hevuutta. Näitä pintoja poistamalla muotoja oli mahdollista muokata jouhevimmiksi pyö-
 ristysten avulla.

2.3 Topologian optimointi

Topologian optimointi on rakenteen optimointimenetelmä, jossa rakenteen geometria
 määritellään ohjelmallisesti tiettyjä rajoitteita ja reunaehtoja käyttäen. Tyypillisesti topo-
 logian optimointia hyödynnettäessä toimitaan siten, että valmistettavasta kappaleesta luo-
 daan todella yksinkertaistettu malli, johon määritellään kuormitukset sekä alueet joista
 materiaalia ei saa poistaa. Optimointiohjelmisto luo näiden ehtojen perusteella rakenteen,
 jossa materiaalia on vain niillä alueilla, joilla määritellyt kuormat ja reunaehdot sitä vaa-
 tivat. (Westerlund 2017.)

Optimointiohjelman antama rakenne ei kuitenkaan käytännössä koskaan ole suoraan val-
 mistuskelpoinen johtuen sen todella yksityiskohtaisista ja silmään pistävistä muodoista.
 Optimoitu rakenne toimii siis useimmiten lähtökohtana, jonka perusteella suunnittelija
 mallintaa lopullisen, valmistuskelpoisen tuotteen. (Westerlund 2017.)

Kuvassa 2 on esitetty tässä opinnäytetyössä yhtenä esimerkkikappaleena käytetyn rei'it-
 timen kahvan yksinkertaistettu malli sekä optimoitu rakenne. Kuvasta huomataan selvästi
 optimoidun rakenteen pinnan rosoisuus, jonka vuoksi kappale ei suoraan kelpaa valmis-
 tettavaksi. Kuvan optimoidussa rakenteessa ei myöskään ole kahvan kiinnityksen reikien
 osuutta.



KUVA 2. Nitojan kahvan yksinkertaistettu malli ja rakenne topologian optimoinnin jäl-
 keen.

3 PIKAMALLINNUS / 3D-TULOSTUS

Pikamallinnuksella, joka tunnetaan yleisemmin nimellä 3D-tulostus, tarkoitetaan valmistusmenetelmää, jossa kappale valmistetaan lisäämällä materiaalia kerros kerrokselta sen sijaan että materiaalia poistettaisiin ahiosta. Joissain yhteyksissä myös eräitä materiaalia poistavia menetelmiä, kuten laser- ja vesileikkausta, kutsutaan materiaalia poistavaksi pikamallinnukseksi (Subtractive rapid prototyping) mutta tässä opinnäytetyössä keskitytään materiaalia lisääviin menetelmiin.

On myös hyvä huomioida, että Englannin kielisissä julkaisuissa käytetään usein erikseen termejä ”Rapid prototyping” ja ”Rapid manufacturing”, joilla molemmilla viitataan pikamallinnukseen menetelmänä mutta eritellään prototyyppien valmistus ja tuotteiden sarjatuotanto. Tässä opinnäytetyössä ei oteta kantaa mahdollisiin sarjakokoihin vaan termiä ”Pikamallinnus” käytetään yleisterminä useille eri valmistusmenetelmille, joita kuvailaan tarkemmin luvussa 3.2.

3D-tulostusprosessissa valmistettavasta kappaleesta luodaan ensin CAD-ohjelmistolla 3D-malli, joka viipaloidaan usein erillisellä ohjelmistolla kerroksiksi, jotka tulostuslaite tulostaa alimmasta lähtien valmiiksi kappaleeksi. Pikamallinnuksen yleistyessä, monet CAD-ohjelmien valmistajat ovat alkaneet sisällyttää viipalointi- ja 3D-tulostustoimintoja osaksi suunnitteluohjelmistoja, jolloin erillisiä ohjelmia ei välttämättä tarvita.

Pikamallinnuksella saavutetaan monia hyötyjä perinteisiin valmistusmenetelmiin, kuten metallien lastuavaan työstöön tai muovien ruiskuvalamiseen verrattuna. Näistä eräitä merkittävimpiä ovat muun muassa valmistuskustannusten aleneminen, prototyyppiosan nopea valmistus, mahdollisuus testata suunnitellun kappaleen tai kokoonpanon toimivuus aikaisin suunnitteluvaiheessa sekä suunnittelu- ja laatuvirheiden aikaisempi havaitseminen. (Bryden 2014, s. 94c.)

3.1 Pikamallinnettavan kappaleen suunnittelu

Kappaleen, joka on tarkoitettu valmistettavaksi jollakin pikamallinnusmenetelmällä, suunnittelu on lähtökohtaisesti vapaampaa materiaalia poistaviin menetelmiin verrattuna. Tämä johtuu lähinnä siitä, että lähes kaikilla pikamallinnusmenetelmillä voidaan valmistaa muotoja, joiden valmistaminen olisi materiaalia poistavilla menetelmillä mahdotonta. Eräitä esimerkkejä tästä ovat kappaleen sisällä kulkevat kanavistot ja muut ontot rakenteet.

On kuitenkin huomioitavaa, että vaikka kaikilla menetelmillä edellä mainittujen kaltaiset ratkaisut ovat mahdollisia toteuttaa, jotkin menetelmät soveltuvat niihin todellisuudessa muita paremmin. Joidenkin menetelmien, lähinnä nestemäisiä ja vahamaisia materiaaleja kovettavien kohdalla ongelmaksi saattaa sisäisissä rakenteissa muodostua käsittelemättömän materiaalin jääminen ontton rakenteen sisään, jolloin kappaleeseen on suunniteltava poistoreikä.

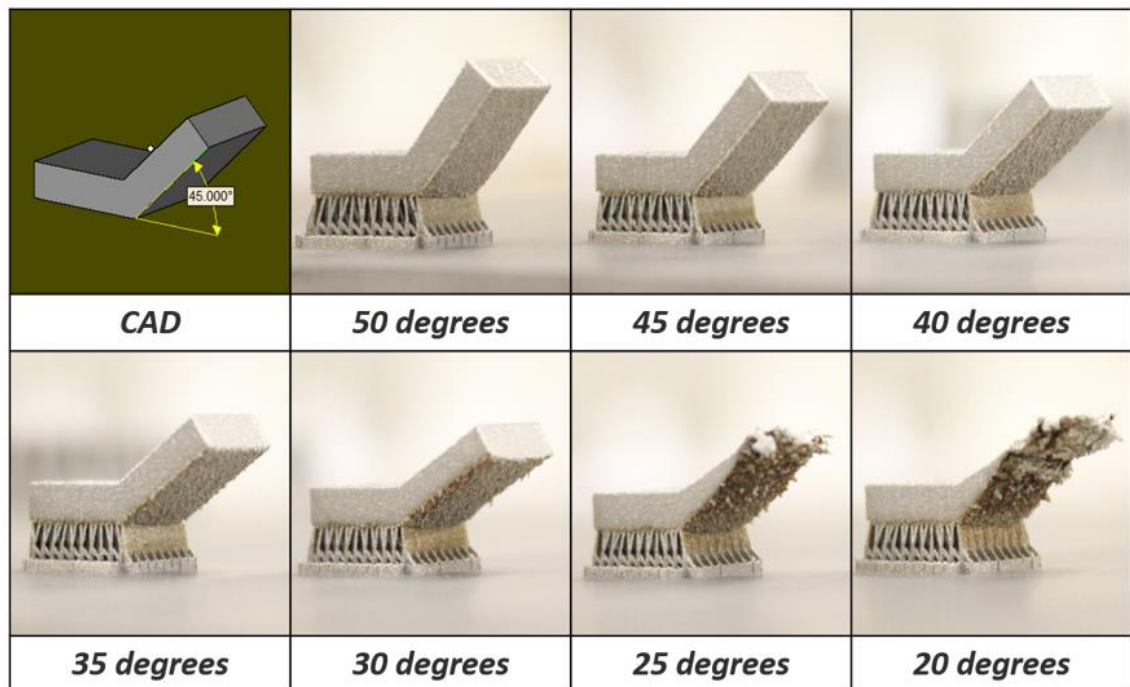
3.1.1 Tukirakenteiden tarve

Eräs tärkeä huomioitava seikka suunniteltaessa pikamallinnettavia kappaleita on tukirakenteiden tarve. Koska useimmat pikamallinnusmenetelmät valmistavat kappaleen kerroksina alhaalta ylöspäin, saattaa valmistuksessa tulla vastaan tilanne, jossa materiaalia olisi tulostettava tyhjän päälle. Toisin sanoen kappaleessa on alue jonka alla ei ole edellistä kerrosta, jonka päälle uuden kerroksen voisi tulostaa. Tällaisessa tilanteessa useimmat menetelmät vaativat onnistuakseen tukirakenteen kyseisen kohdan alle.

Tukirakenteet ovat ylimääräisiä osia kappaleessa ja ne muodostuvat tarvittaviin kohtiin alimmasta kerroksesta alkaen. Tukirakenteet on pikamallinnusprosessin jälkeen poistettava kappaleesta aiheuttaen ylimääräisen viimeistelyvaiheen, joten kappaleet ovat järkevää suunnitella mahdollisuuksien mukaan siten, että ne vaativat mahdollisimman vähän tukirakenteita. Erityisesti metallien yhteydessä tukirakenteet ovat haastavia, sillä niiden poistaminen vaatii kappaleen koneistamista viimeistelyvaiheessa.

Monilla polymeerimateriaaleilla tilanne on hieman helpompi, sillä usein tukimateriaalina voidaan käyttää eri materiaalia kuin itse kappaleessa. Tällöin tukimateriaali voidaan valita jossakin tietyssä kemikaalissa liukenevaksi ja kappaleen viimeistely onnistuu kyseisellä liuottimella vahingoittamatta varsinaista kappaletta.

Kuten aiemmin mainittu, tukimateriaalia tarvitaan, kun valmistettavan kohdan alla ei ole edellistä kerrosta tukemassa rakennetta. Tukimateriaalia ei kuitenkaan tarvita aina, kun geometria muodostuu tyhjän päälle. Materiaalista riippuen voidaan valmistaa rakenteita, joiden kaltevuus on vähintään noin 40-45 astetta vaakatasosta mitattuna. Kun kaltevuus ylittyy, materiaali alkaa valua aiheuttaen vääristymiä muodoissa ja kappaleen mitoissa. Kuvassa 3 on esitetty 3D tulostetun kappaleen rakenteen käyttäytyminen tulostuskulman muuttuessa.



KUVA 3. Rakenteen käyttäytyminen tulostuskulman muuttuessa (Utlely 2017).

3.2 Pikamallinnusmenetelmät

Pikamallinnusmenetelmiä ja niissä käytettäviä materiaaleja on olemassa useita, jolla kaikilla on omat etunsa ja heikkoutensa. Pikamallinnettavaa kappaletta suunniteltaessa onkin oleellista tiedostaa ennakkoon millä menetelmällä tai menetelmillä kyseinen kappale on järkevää - ja mahdollista - valmistaa. Merkittävimmät tekijät menetelmää valittaessa ovat

menetelmän rajoitteet kappaleen geometrian suhteen, valmistusnopeus, tulostuslaadun taso ja jälkikäsittelyn tarve, käytettävissä olevat materiaalit ja niiden ominaisuudet sekä yksittäisen kappaleen suhteellinen valmistuskustannus, mikäli kappaletta on tarkoitus valmistaa suuria volyymejä pikamallintamalla.

3.2.1 Fused Deposition Modelling (FDM)

FDM on ensimmäisiä ja yksi yleisimmistä materiaalia lisäävistä pikamallinnusmenetelmistä. FDM-menetelmässä ohutta polymeerifilamenttia lämmitetään sen sulamispisteen yläpuolelle, jonka jälkeen se pursotetaan suuttimen läpi valmistusalustalle CAD-mallin poikkileikkauksen mukaisina kerroksina alhaalta ylöspäin.

FDM-tyyppisiä 3D-tulostimia on olemassa lukuisia eri hintaluokissa. Tästä johtuen 3D-tulostimia on saatavilla varsin edullisesti myös henkilökohtaiseen käyttöön. Materiaalina käytettävä filamentti on myös varsin edullista, jolloin kappaleiden valmistuskustannukset ovat alhaiset. FDM-tulostimien ja materiaalin edullisen hinnan, käytön helppouden ja tulostamiseen tarvittavien ilmaisohjelmien saatavuuden vuoksi kynnys 3D-tulostamiseen on nykyään varsin alhainen.

3.2.2 Direct Metal Laser Sintering (DMLS)

DMLS on pikamallinnusmenetelmä, jossa ohut, noin 0.02 – 0.1 mm paksuinen kerros metallipulveria levitetään tulostustasolle, jonka jälkeen korkeatehoinen laser sulattaa pulverista valmistettavan kappaleen poikkileikkauksen mukaisen kerroksen. Kerrosten välissä alustalle, ja edellisen kerroksen päälle, levitetään uusi kerros pulveria ja prosessia toistetaan, kunnes kappale on valmis. (Bryden 2014, s. 46)

Perinteisiin materiaalia poistaviin menetelmiin verrattuna DMLS:llä valmistettavien kappaleiden geometriat voivat olla huomattavasti monimutkaisempia ja käyttämällä rakenteissa esimerkiksi kevennettyä verkkorakennetta (Lattice-rakenne) voidaan saada aikaan huomattavasti kevyempiä rakenteita, joiden ominaisuudet vastaavat lähes kiinteitä metalli

seoksia. On kuitenkin huomioitava, että DMLS-menetelmä vaatii tukirakenteen roikkuviin ja tyhjän päälle luotaviin muotoihin, jolloin kappale saattaa vaatia viimeistelykoneistusta. (Bryden 2014, s. 46)

3.2.3 Selective Laser Melting (SLM)

SLM on metallien pikamallinnusmenetelmä, jossa metallipulveria sulatetaan laserilla useimmiten 20-100 µm paksuisina kerroksina alhaalta ylöspäin. Tulostus tapahtuu suljetussa inerttiä kaasua sisältävässä kammiossa siten, että ensin metallipulveria levitetään kerros tulostusalustalle, jonka jälkeen laser sulattaa ensimmäisen kerroksen 3D-mallin poikkileikkauksen mukaisesti. Lyhyen jäähtymisajan jälkeen prosessi toistetaan, kunnes kappale on valmis. (Komi 2014, 4-5)

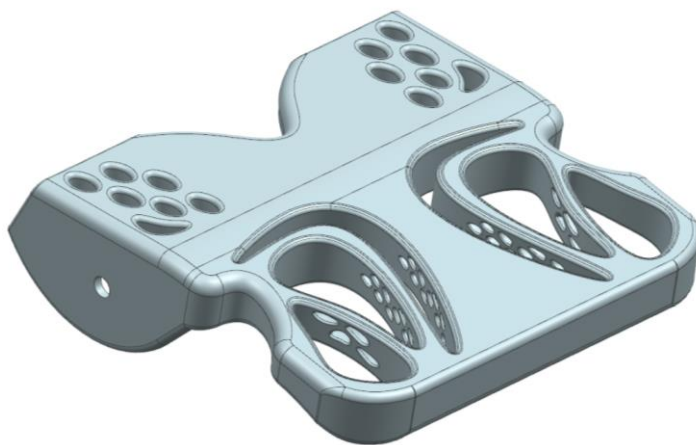
4 ESIMERKKIKAPPALEIDEN MALLINTAMINEN NX-OHJELMISTOLLA

Työssä mallinnettiin kolme esimerkkikappaletta, joiden avulla ohjelmiston soveltuvuutta testattiin. Kaksi kappaletta tehtiin käyttäen pohjana paperilävistimen kahvaa siten, että ensimmäisessä kappaleessa kahvaan hahmoteltiin niin sanottuja biomimiikkamuotoja ja toisessa lattice-verkkorakennetta. Kolmannen kappaleen tarkoitus oli esittää sisäkkäisiä rakenteita kuvaavaa geometriaa.

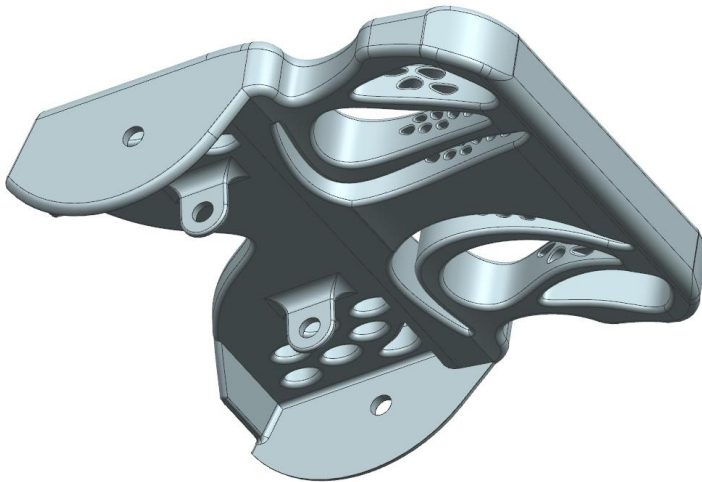
Luvuissa 4.1 – 4.3 on esitelty mallinnetut kappaleet ja pääpiirteittäin se, kuinka ne mallinnettiin. Huomioitavaa on se, että kaikki muodot on mahdollista mallintaa useilla eri tavoilla, joten tässä ei selitetä yksityiskohtaisesti kaikkien muotojen luomista, vaan pyritään esittämään hyväksi todettuja, monipuolisia tapoja, joita on mahdollista soveltaa laajasti erilaisiin muotoihin.

4.1 Lävistimen kahva, biomimiikka

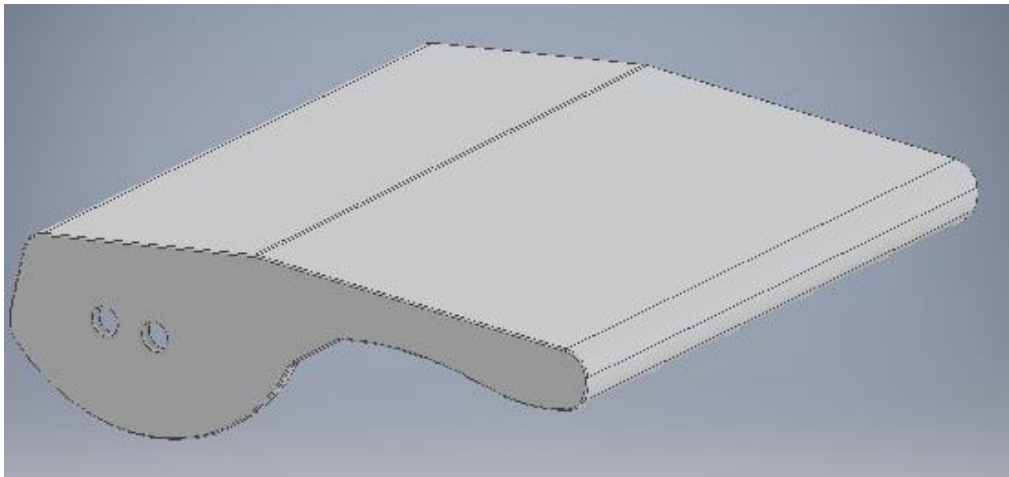
Ensimmäinen esimerkkikappale, jonka mallintamisen avulla työssä tutkittiin NX:n ominaisuuksia, oli paperilävistimen kahva. Kahvan mallintamisessa pyrittiin luomaan muotoja, jotka muistuttavat jossain määrin luonnossa esiintyviä muotoja. Tällaista luonnon muotojen jäljittelyä kutsutaan biomimiikaksi. Kahvaa mallinnettaessa ei ollut etukäteen päätetty minkään tietyn muodon jäljittelyä, vaan lopputulos muovautui työn edetessä erilaisten muotojen testauksen tuloksena. Valmis kappale on esitetty kuvissa 4 ja 5 ja alkuperäisen kahvan perusmuoto kuvassa 6.



KUVA 4. Biomimiikka-mallinen kahva yläperspektiivistä.

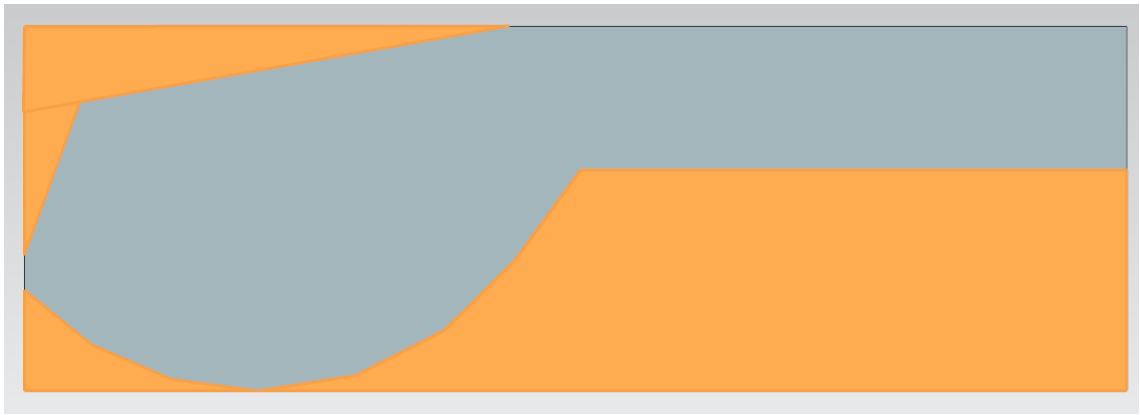


KUVA 5. Biomimiikka-mallinen kahva alaperspektiivistä.



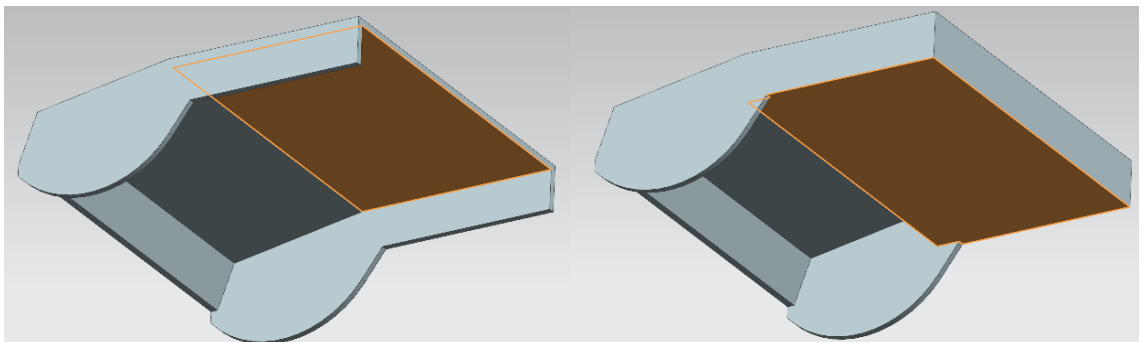
KUVA 6. Alkuperäisen kahvan perusmalli.

Biomimiikkaa mukailevan lävistimen kahvan mallinnus aloitettiin luomalla kahvan perusmuotoa muistuttava perusmalli. Perusmalli luotiin yksinkertaisesti pursottamalla kahvan päämittojen mukainen suorakaiteen muotoinen osa, josta leikattiin yksinkertaisia sketsejä käyttäen materiaalia siten, että lopputulos muistutti kahvan perusmuotoa. Kuvassa 7 on esitetty oranssilla värillä osat, jotka ensimmäisestä pursotuksesta leikattiin pois perusmuodon luomiseksi.



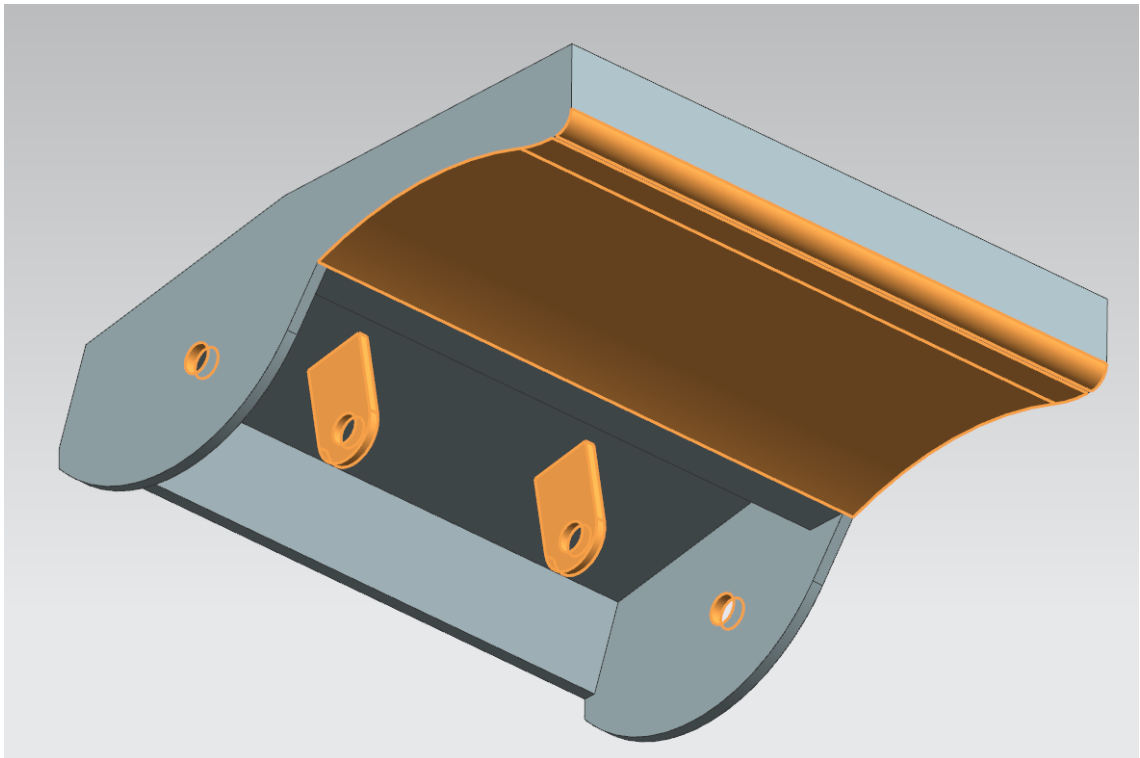
KUVA 7. Perusmuodon leikkaus.

Seuraavaksi kappaleen seinämävahvuus määriteltiin 1,8 mm vahvuiseksi käyttäen Shell-työkalua kappaleen alapintaan. Jotta kahvan etuosaa olisi mahdollista muotoilla, sen suoralle osuudelle pursotettiin lisää materiaalia. Tämä toteutettiin NX:n suoramallinnustyökaluista Pull Face –toimintoa käyttäen. Kuvassa 8 on esitetty pursotettu pinta ennen ja jälkeen.



KUVA 8. Pull Face -toiminto.

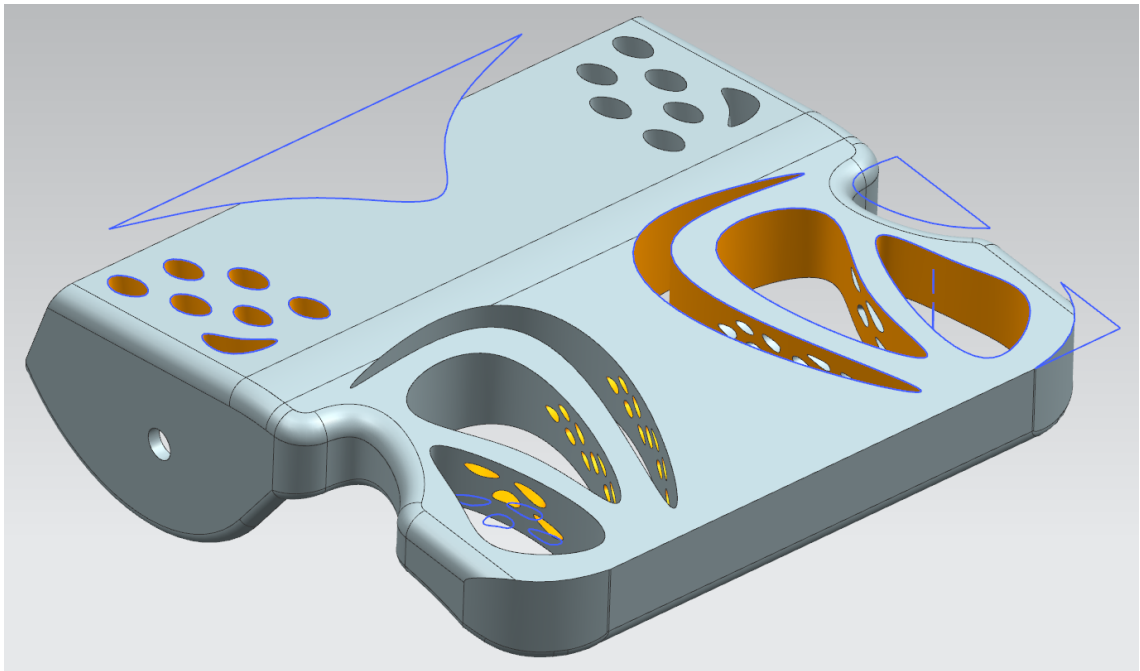
Peruskappaleen muotoja tarkennettiin ja vielä hieman lisäämällä reunoihin pyöristykset, lisäämällä kiinnitysreikien tukiosat sekä kiinnitysreiät (Kuvassa 9 oranssilla).



KUVA 9. Perusmallin viimeistelyt.

Biomimiikkamuotojen luomiseen on lähes loputtomasti tapoja, joten tässä on kuvailtuna eräs monipuoliseksi havaittu tyyli, jota on mahdollista hyödyntää hyvin laajasti tekijän mielikuvituksen puitteissa.

Ensimmäiset muodot luotiin tekemällä sketsi kahvan etuosan tasaiselle yläpinnalle käyttäen Studio Spline -työkalua. Studio Splinellä on mahdollista luoda varsin monipuolisia kuvioita, joiden avulla pursottaa tai leikata materiaalia kappaleesta. Tässä kappaleessa lähes kaikki päämuodot onkin luotu kyseistä toimintoa käyttäen. Kuvassa 10 on esitetty oranssilla perusmuotojen leikkaukset ennen reunojen pyöristyksiä, sekä sinisellä värillä niiden luomiseen käytetyt sketsit. Symmetrisen muodon aikaansaamiseksi muodot on luotu vain toiselle puolelle kappaletta, jonka jälkeen ne ovat peilattu kappaleen keskilinjän suhteen Mirror Face -työkalulla.

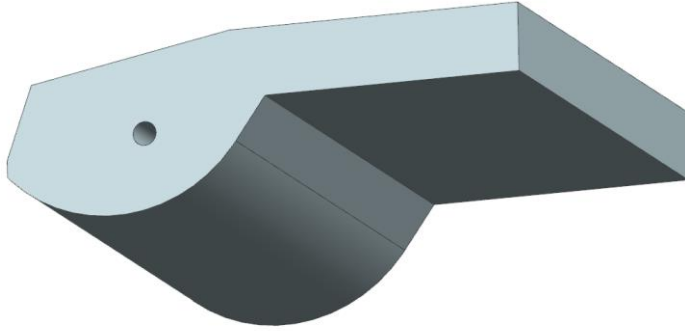


KUVA 10. Studio Spline -työkalulla luodut sketsit, leikkaukset ja niiden Mirror Face -peilaukset.

Kuten mainittu, biomimiikkamuotoja voi tehdä lähes loputtomin eri tavoin, sillä kyseiseen kategoriaan sopivia muotoja on lukemattomia. Työtä tehdessä havaittiin, että jos päätettynä ei ole jotakin tiettyä muotoa jota tavoitellaan, haastavin osuus tekemisessä ei välttämättä ole muotojen aikaansaaminen malliin vaan niiden keksiminen. Siemens NX soveltuu perustoiminnoiltaan varsin hyvin haastavienkin muotojen luomiseen, mikäli tekijällä riittää mielikuvitusta toimintojen luovaan käyttämiseen.

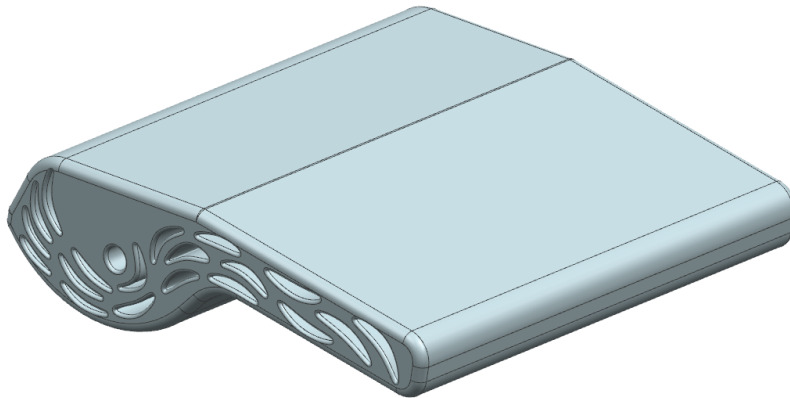
4.2 Lävistimen kahva, verkkorakenne (Lattice)

Toisena esimerkkikappaleena mallinnettiin vastaava lävistimen kahva kuin luvussa 4.1, mutta nyt muodoiksi luotiin verkkomainen lattice-rakenne. Kappaleen mallintaminen aloitettiin vastaavalla tavalla kuin luvun 4.1 kappaleessa, eli pohjana käytettiin kahvan perusmallia, johon luotiin tavoitellut muodot. Tässä kappaleessa kahvan perusmuodosta ei tosin tehty ohutseinämäistä, vaan kappale jätettiin sen sivuprofiilin mukaisesti täyteen materiaalia. Tässä käytetty kahvan perusmalli on esitetty kuvassa 11.



KUVA 11. Lattice-kahvan perusmalli.

Muutaman eri version jälkeen työssä päädyttiin geometriaan, jossa kappaleen sivusta on leikattu materiaalia koko kappaleen leveyssuunnassa sekä kahvan etuosassa lisäksi pystysuunnassa verkkomaisuuden saavuttamiseksi (kuvat 12 ja 13).

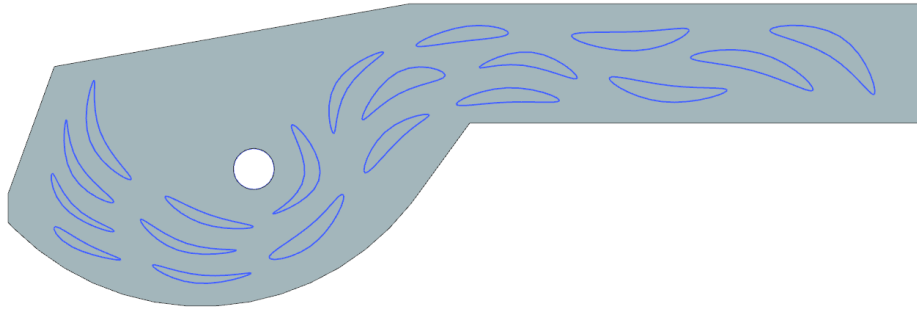


KUVA 12. Valmis kappale yläperspektiivistä.

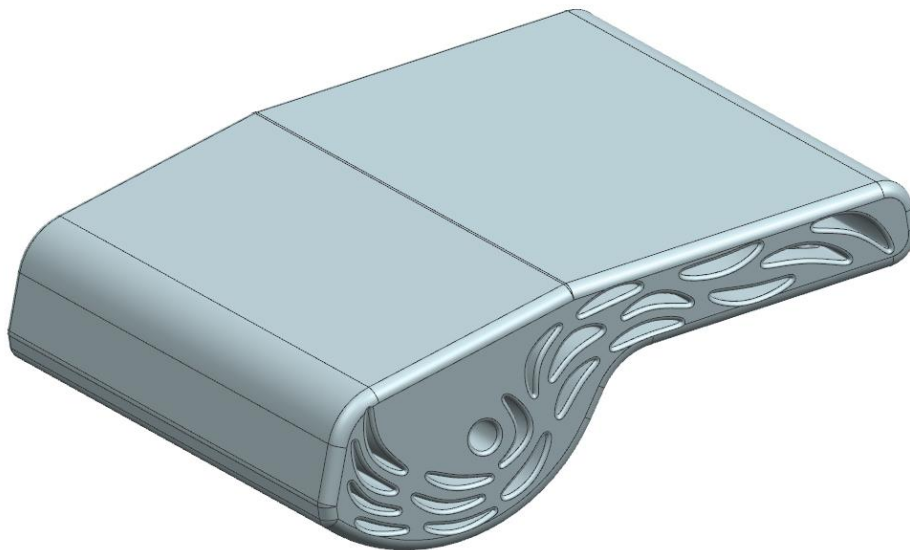


KUVA 13. Valmis kahva alaperspektiivistä.

Leveyssuunnassa olevat leikkaukset luotiin tekemällä kahvan sivuosaan kuvan 14 mukainen sketsi Studio Spline -työkalulla. Sketsi on esitetty kuvassa sinisellä. Sketsin leikkaamisen jälkeen leikkauksen reunat pyöristettiin ja sketsiä muokattiin sopivan pyöristyksen aikaansaamiseksi. Ennen seuraavien piirteiden luomista myös kahvan ulkoreunat pyöristettiin (kuva 15).

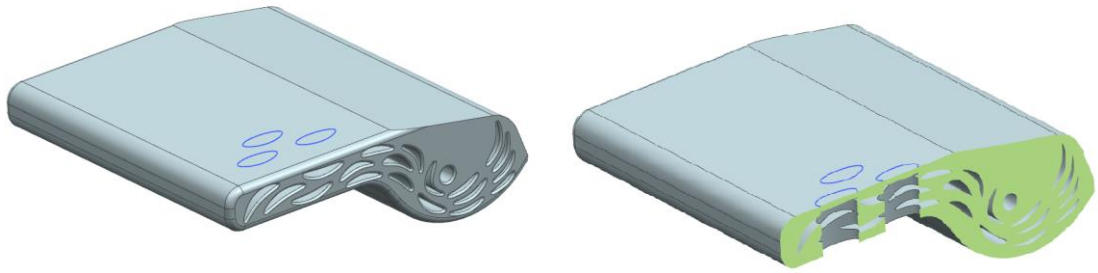


KUVA 14. Leveyssuuntaisten leikkausten sketsi.



KUVA 15. Leveyssuuntaiset leikkaukset ja kulmien pyöristykset.

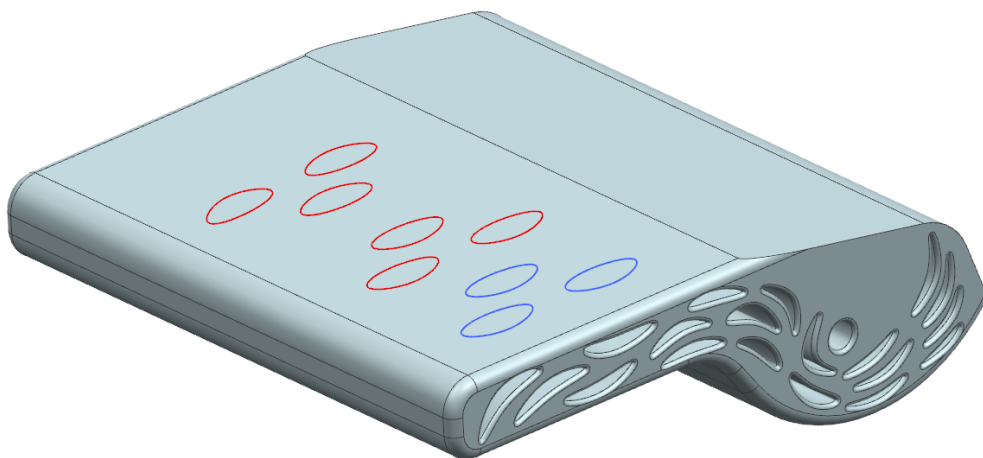
Kahvan etuosan verkkomainen rakenne luotiin tekemällä kuvan 16 mukainen sketsi kahvan tasaiselle yläpinnalle. Sketsin avulla materiaalia leikattiin kahvasta siten, että leikkaus ei ulotu koko kappaleen läpi vaan kahvan alapinnasta noin 1,5 millimetrin etäisyydelle yläpinnasta. Kuvassa 16 on esitetty yläpintaan tehty sketsi sinisellä värillä, sekä leikkauskuvanto sketsin pursottamisen jälkeen.



KUVA 16. Pystysuuntaisen muodon ensimmäinen sketsi ja leikkauskuvanto kappaleesta.

Leikattu osuus peilattiin Mirror Feature -työkalulla kahvan toiselle puolelle symmetrisen lopputuloksen aikaansaamiseksi, jonka jälkeen leikkauksen luomat, kahvan sisäiset reunat pyöristettiin molemmilta puolilta. Pyöristysten luominen osoittautui hieman haasteelliseksi, sillä kappaleen sisään jäävät piirteet olivat hyvin pieniä ja lähellä toisiaan. Tästä johtuen vierekkäisten reunojen pyöristykset menivät helposti päällekkäin, jolloin piirteiden luominen ei välttämättä onnistu. Pyöristysparametreja vaihtelemalla löydettiin kuitenkin asetukset, jolla pyöristysten luominen onnistui.

Kahvan etuosan keskelle lisättiin aiemmin tehtyjä leikkauksia vastaavat piirteet kuvassa 17 punaisella korostetun sketsin mukaisesti, jonka jälkeen kyseisen leikkauksen reunat pyöristettiin. Myös tässä vaiheessa pyöristykset olivat haastavia saada onnistumaan ja ne jouduttiinkin tekemään useammalla eri käskyllä. Lopuksi kappaleen loputkin reunat pyöristettiin ja kappale viimeisteltiin tekemällä joitakin muokkauksia luotuihin piirteisiin.

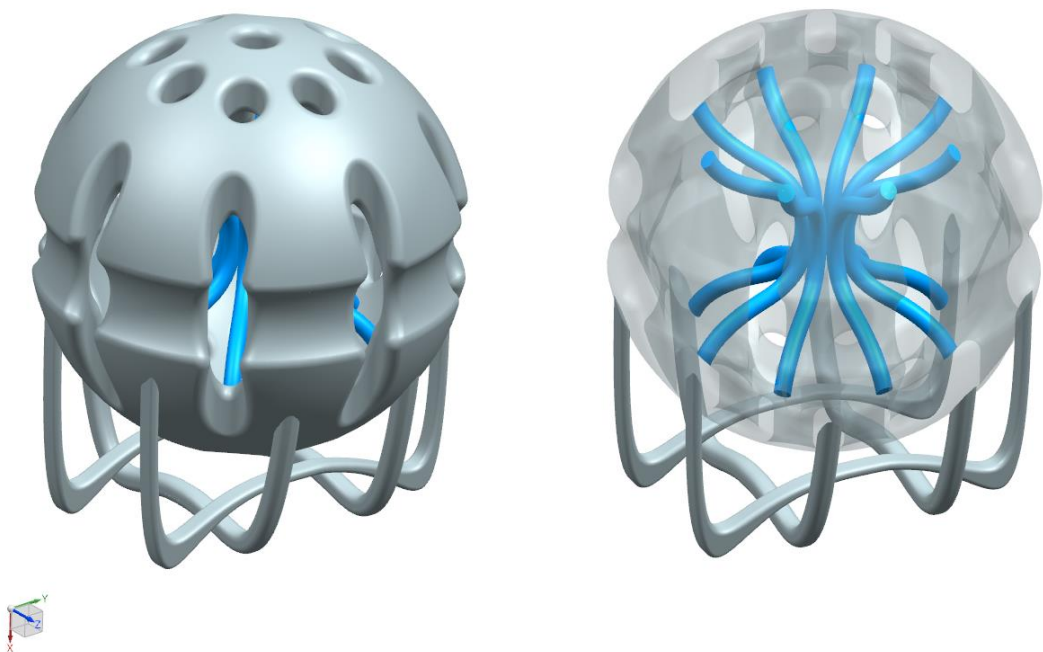


KUVA 17. Kahvan keskiosan leikkauksen sketsi.

4.3 Toroid-kappale

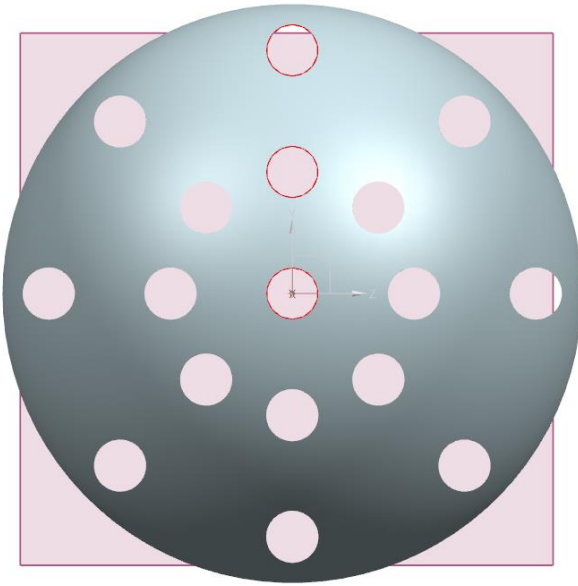
Kolmantena, ja viimeisenä, esimerkkikappaleena luotiin niin kutsuttu toroid-mallinen kappale, eli kappale jossa on sisäkkäisiä ja itseensä sulkeutuvia muotoja. Kolmannelle kappaleelle ei ollut määritelty mitään tietynmallista lähtökohtaa, kuten kahdelle ensimmäiselle kappaleelle, vaan sen geometria muodostui työtä tehdessä.

Työssä päädyttiin lopulta yhdestä kiinteästä solidista muodostuvaan pallomaiseen rakenteeseen, jonka sisällä on lieriömäisiä tukirakenteita ja ulkopinnasta muodostuu toistensa suhteen sisäkkäin kulkevat tukijalat. Valmis kappale on esitetty kuvassa 18.



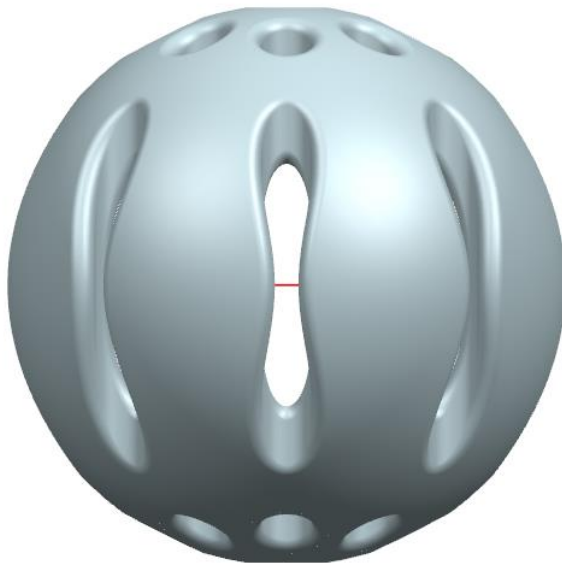
KUVA 18. Valmis Toroid-kappale.

Kappaleen mallintaminen aloitettiin luomalla kaksi sisäkkäistä palloa Sphere-toiminnolla, jolloin suuremmasta voitiin poistaa pienemmän tilavuus onton pallon luomiseksi. Tämän jälkeen onttoon palloon luotiin ylä- ja alapintojen reiät hyödyntäen Pattern Face -toimintoa. Reikien purostukset toteutettiin luomalla kuvassa 19 punaisella korostettu sketsi pallon keskipisteen kautta kulkevalle tasolle, jonka jälkeen pursotetut reiät kopioitiin keskimmäisen reiän pituusakselin ympäri Pattern Face -toiminnolla.



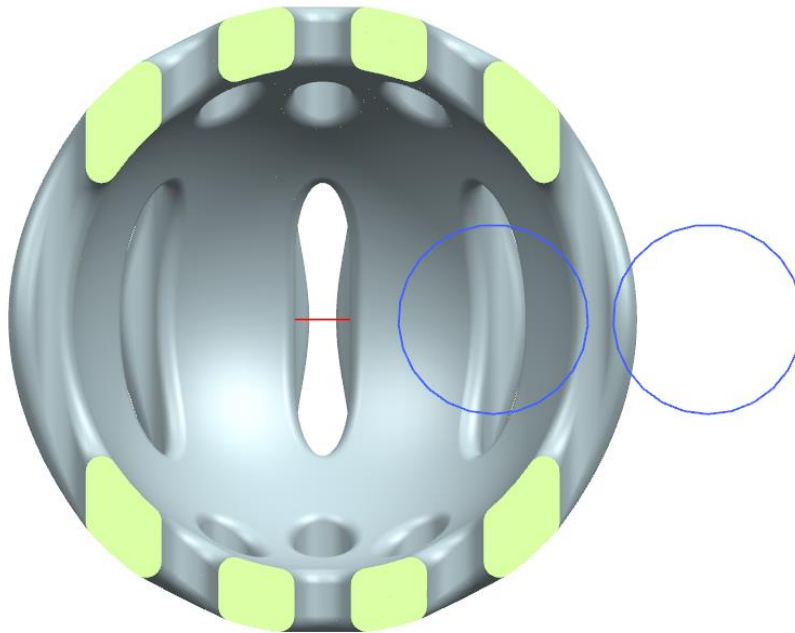
KUVA 19. Pystysuuntaisten reikien sketsi ja pursotuksen kopiointi.

Pystysuuntaisten reikien asemointi suunniteltiin siten, että yhdessä seuraavaksi tehtävien pyöristysten kanssa uloimmat reiät leikkaavat kappaleeseen koko ainevahvuuden paksuudelle pitkittäiset lovet (kuva 20).



KUVA 20. Pyöristysten ja leikkauksen luomat pystysuuntaiset lovet.

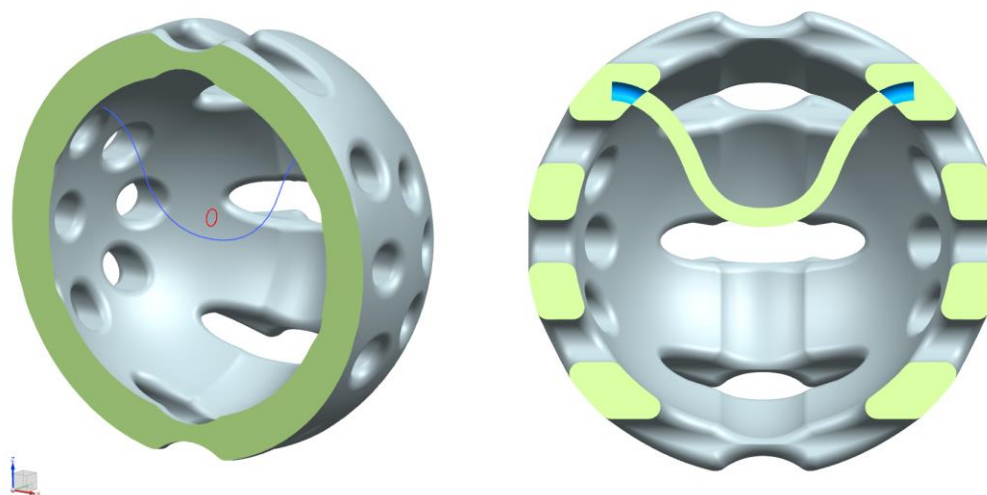
Kappaleen ympäri olevat urat ulko- ja sisäpinnalla luotiin leikkaamalla pinnoista kappaleen ulko- ja sisäpuolelle piirrettyjen ympyröiden ulkokehän ja kappaleen pinnan rajaaman segmentin mukaiset alueet. Kuvassa 21 on esitetty sinisellä tähän käytetty sketsi, joka pursotettiin Revolve-toiminnolla pallon keskiakselin ympäri.



KUVA 21. Sisä- ja ulkopinnan urien sketsi.

Seuraavaksi tehtiin pallon sisällä olevat tukirakenteet. Tukirakenteen profiili luotiin Sweep Along Guide -toiminolla, jossa pursotettavan profiilin poikkileikkaus (Section) pursotetaan erikseen sketsattua ohjauskäyrää (Guide) pitkin. Piirteen luomiseksi on siis luotava kaksi sketsiä, jotka on esitetty kuvassa 22 vasemmalla. Profiilin poikkileikkauksen sketsi on korostettu punaisella ja ohjauskäyrän sinisellä värillä.

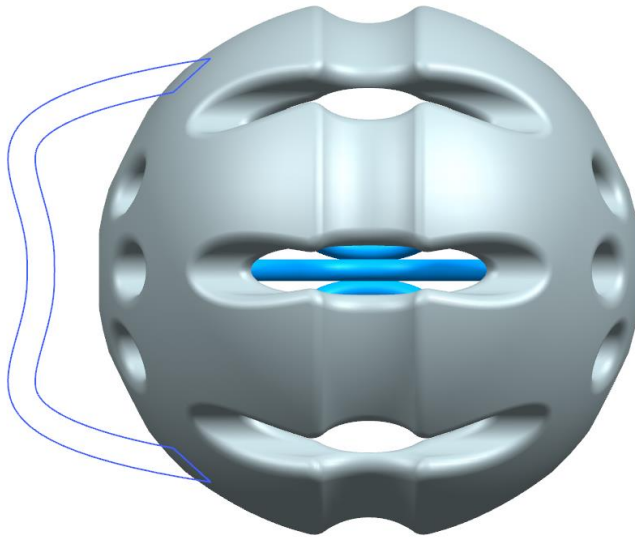
Profiilit pursotettiin pallorakenteen seinämän sisään asti, jonka jälkeen ne yhdistettiin aiemmin luotuun rakenteeseen Unite-toiminnolla yhtenäisen solidin aikaansaamiseksi. Tukirakenteiden pallon sisäpinnan ulkopuoliset osat leikattiin solidista Trim Body -toiminnolla. Näin varmistettiin, että tukirakenteiden päät ovat täysin yhdistyneitä pallon seinämän kanssa (kuvassa 22 oikealla). Tukirakenteita kopioitiin kappaleen sisään yhteensä kahdeksan.



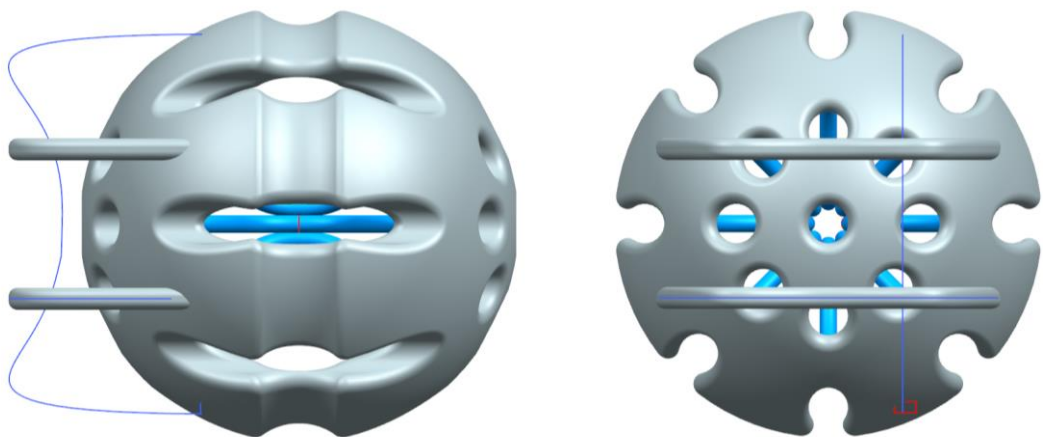
KUVA 22. Tukirakenteen sketsit (vasemmalla) ja leikkauskuva yksittäisestä tukirakenteesta (oikealla).

Kappaleen ulkopuoliset tukijalat luotiin käyttäen kahta eri tapaa. Ulompien jalkojen muodon profiili luotiin kuvan 23 mukaisesti Studio Spline -työkalulla, joka pursotettiin Extrude-toiminolla. Myös tässä jalkojen muodot pursotettiin ensin pallon seinämän sisään Move Face -toimintoa käyttäen, jonka jälkeen niistä poistettiin pallon ulkopinnan sisäpuoliset osat Trim Body -toiminnolla. Lopuksi jalan reunat pyöristettiin ja pursotus peilattiin kappaleen keskilinjan suhteen symmetrisen osan aikaansaamiseksi.

Sisemmät jalat luotiin Sweep Along Guide -toiminnolla käyttäen ohjauksikäyränä kuvassa 24 sinisellä korostettua sketsiä ja profiilin poikkileikkauksena punaisella korostettua suorakaiteen muotoista sketsiä. Lopuksi sisemmän jalan reunat pyöristettiin, pursotus peilattiin kappaleen keskilinjan suhteen sekä pallon ulkopinnan sisäpuoliset osat poistettiin Trim Body -toiminnolla.



KUVA 23. Ulompien jalkojen sketsi.



KUVA 24. Sisemmän jalan sketsi. Ohjaukkyrä sinisellä, profiilin poikkileikkaus punaisella.

5 POHDINTA

Pikamallintamisen yleistyessä jatkuvasti CAD-ohjelmistot ovat mukautuneet vastaamaan teollisuuden tarpeita tarjoamalla monipuolisia työkaluja pikamallinnettavien kappaleiden suunnitteluun ja valmistukseen. Näiden työkalujen avulla geometrisesti haastavampienkin kappaleiden suunnittelun kynnyks on madaltunut, joka omalta osaltaan tehostaa suunnittelutyötä.

Tässä työssä ei ollut käytettävissä erityisesti pikamallinnukseen suunniteltuja työkaluja, vaan kaikki suunnittelu ja mallintaminen tehtiin Siemens NX 10 ja 11- ohjelmistojen perustoiminnoilla. Tästä huolimatta NX:n todettiin olevan varsin toimiva ohjelmisto pikamallinnuksessa tyyppillisten muotojen luomiseen myös pelkillä perustoiminnoilla.

Työtä tehdessä havaittiin, että mikäli käyttäjä tuntee ohjelmiston toiminnot, ongelmaksi ei niinkään useimmiten muodostunut eri piirteiden luomien vaan niiden keksiminen, sillä mitään tiettyjä muotoja ei ollut etukäteen päätetty. Muutaman perustoiminnon yhdistelmällä havaittiin saatavan aikaan todella monipuolisesti eri muotoja, eli todennäköisesti merkittävin rajoite mallintaessa on tekijän kyky käyttää toimintoja luovasti.

LÄHTEET

Bryden, D. 2014. CAD and Rapid Prototyping for Product Design. Lontoo: Laurence King Publishing. Available from: ProQuest Ebook Central. [9 January 2018].

Hakala, P. 2015. Direct Modelling in Global CAD Environment. Konetekniikan koulutusohjelma. Tampereen Teknillinen Yliopisto. Maisterin tutkintotyö.

Pere, A. 2012. Koneenpiirustus 1&2. 11. Painos. Espoo: Kirpe Oy.

Utley, E. 2017. An Introduction to designing for metal 3D Printing. SolidWorks blogi. Luettu 24.4.2018. Saatavilla

<http://my.solidworks.com/reader/wpressblogs/2017%252F06%252Fintroduction-designing-metal-3d-printing.html/an-introduction-to-designing-for-metal-3d-printing>

Tornincasa, S., Di Monaco, F. 2010. The future and the evolution of CAD, 14th International Research/Expert Conference. Saatavilla:

<http://www.tmt.unze.ba/zbornik/TMT2010/Keynote-Tornincasa.pdf>

Westerlund, V. 2017. Topologian optimoinnin hyödyntäminen. RDVelho-blogi. Luettu 4.3.2018. Saatavilla

<https://rdvelho.com/fi/blogi/topologian-optimoinnin-hy%C3%B6dynt%C3%A4minen>