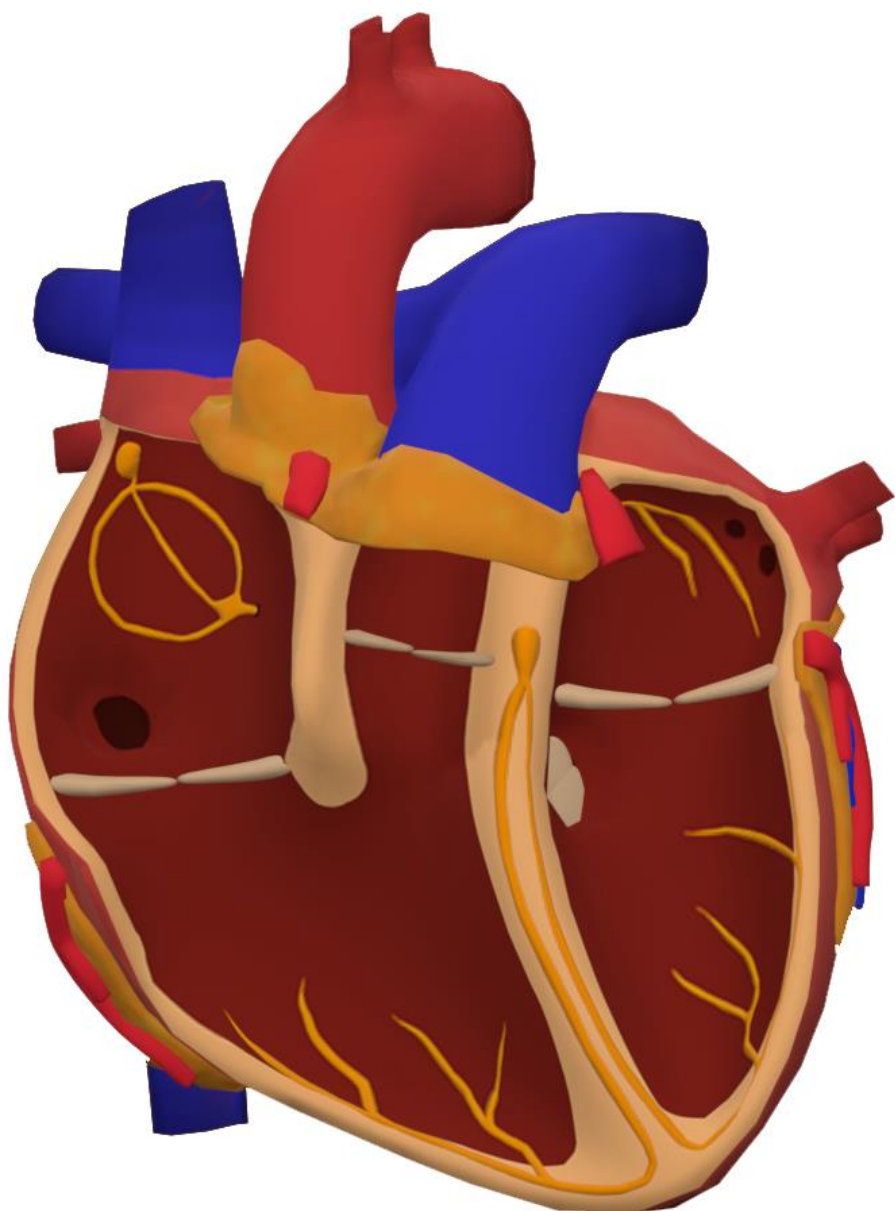


Kiia Aihkisalo

Sydämen 3D-mallinnus ja sen animointi



Tradenomi
Tietojenkäsittely
Syksy 2020



KAMK • University
of Applied Sciences

Tiivistelmä

Tekijä(t): Aihkisalo, Kiia

Työn nimi: Sydämen 3D-mallinnus ja sen animointi

Tutkintonimike: Tradenomi (AMK), tietojenkäsittely

Asiasanat: anatomia, sydän, 3D-malli, animaatio, oppimateriaali, lääketieteellinen kuvitus

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tehdä tyyliä, mutta anatomisesti korrekti 3D-malli ihmisen sydäimestä ja sen poikkileikkaus. 3D-malli animoitiin myös näyttämään oikeanlainen sydämen mekaaninen pumppaustoiminta. Poikkileikkauksen animaatioihin lisättiin verenkierto ja sähköinen toiminta. Projektin tarkoituksena oli myös kehittää omaa osaamista visuaalisen opetusmateriaalin ja 3D-mallien teossa.

Opinnäytetyön loppuraportti koostuu projektin aikana käytetystä teoriasta käytännössä ja kokoaa projektin eri vaiheet. Teoria esittelee lääketieteellisen kuvittamisen merkityksen ja historian sekä 3D-mallintamisen eri vaiheet. Tämän jälkeen opinnäytetyö käsittelee lopputuotteen luomisprosessin vaihe vaiheelta. Prosessin yhteydessä esitellään myös käytetyt ohjelmistot.

Lopputuotteina syntyi kaksi 3D- mallia ihmisen sydäimestä; kokonainen ja poikkileikkaus. Molemmat 3D-mallit on animoitu pumppaamaan kuvastamaan sydämen mekaanista toimintaa. Poikkileikkaus-mallin animaatioihin on lisätty sähköisen impulssin eteneminen sähköistä järjestelmää pitkin sekä veren kulkeminen sen eri rakenteiden kautta.

Opinnäytetyöprosessi kehitti graafisia taitoja 3D-mallinnuksessa ja animoinnissa sekä edisti lääketieteellisten kuvitusten suunnittelua ja toteutusta. Tulevia käyttö- ja jatkumahdollisuuksia työlle heräsi prosessin aikana useita, kuten animoida eri rytmihäiriöiden ja sydäninfarktien vaikutuksia sydämen toimintaan.

Abstract

Author(s): Aihkisola Kiia

Title of the Publication: 3D Modeling and Animation of a Human Heart

Degree Title: Bachelor of Business Administration, Business Information Technology

Keywords: anatomy, heart, 3D model, animation, learning material, medical illustration

This thesis' aim was to create a stylised, but anatomically correct, 3D model of a human heart and its cross-section. The 3D models created were also animated to imitate the heart's normal mechanical pumping function, a blood flow and electrical impulses' passage through the heart's electrical system. The thesis project's goals were also to improve the author's skills and knowledge in designing and implementing those designs into usable visual learning material and 3D models.

The thesis report consists of the theory used in the work process and summarises all the work steps that were essential for this project. The theoretical part presents the history and the purpose of medical illustrations and different phases of 3D modelling. The last part presents the work process in practice phase by phase. The used software programs and tools are also introduced in this part.

The presented workflow yielded two 3D models of the human heart: the entire heart and a cross-section of the heart. Both models are animated with the mechanical pumping action. The cross-sectional model also has an electrical impulse and blood flow through the heart's structure as animations.

The concluded process improved the author's graphics skills in 3D modeling and animation, but also encouraged in design and making of medical illustrations. The future research possibilities that occurred during this process included creating more animations of effects of different heart arrhythmias and failures.

Alkusanat

"Kaikki pitäisi tehdä niin yksinkertaiseksi kuin mahdollista, mutta ei yhtään sitä yksinkertaisemmaksi."

- Albert Einstein

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Lääketeollinen kuvittaminen	2
2.1	Lääketeollisen kuvittamisen historia	3
2.2	Kehityksen mukana	5
3	3D-mallinnus ja animointi	7
3.1	3D-mallinnuksen perusteet	7
3.2	Topologia ja retopologia	9
3.3	UV	10
3.4	Teksturointi	12
3.5	Tekstuurien beikkaus	15
3.6	3D-animaatio	16
3.7	Modifikaattorit	17
4	3D-mallintamisen käytännön vaiheet	18
4.1	Referenssit	18
4.2	Käytetyt ohjelmistot	20
4.3	Digitaalinen veistäminen	21
4.4	Retopologia ja UV	24
4.5	Rasvakudos, sepelvaltimot ja läpät	26
4.6	Teksturointi	28
5	Animaatio	30
5.1	Luustaminen ja painomaalaus	30
5.2	2D-animaatio 3D-malliin	32
5.3	Lopputuotokset	34
6	Yhteenveto	36
	Lähteet	38

1 Johdanto

Lääketieteellinen kuvittaminen on nykyaikana olennainen osa lääketieteellisten oppimateriaalien suunnittelua ja toteutusta, mutta sen käyttäminen ei ollut anatomian tutkimusten alkaessa itsessään selvää. Anatomiaa muodostui oma tieteenala noin 500 vuotta ennen ajanlaskumme alkua, mutta ensimmäiset viralliset lääketieteellisen kuvitukset tulivat mukaan vasta 1100–1300-luvuilla tekstin rinnalle. Lääketieteellistä kuvittamisesta on ajan saatossa muodostunut oma ammattiryhmänsä, ja se kehittyy jatkuvasti uuden teknologian mukana; painotekniikka mahdollisti tiedon jakamisen laajemmalle yleisölle, ja 3D-mallintaminen tuo uuden näkökulman sekä tekijöille että käyttäjille.

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli toteuttaa projektiluonteisesti tyylitelty ja animoitu 3D-mallinnus ihmisen sydäimestä. Työn tilaajana toimi Kainuun Soten ensihoidon yksikkö. 3D-mallinnuksen tarkoituksena oli lisätä tilaajan käyttöön uudenlaista visuaalista oppimismateriaalia, joka tukee työntekijöiden oppimista ja tiedon ylläpitoa.

Opinnäytetyön aiheen valintaan vaikutti tekijän oma kiinnostus lääketieteelliseen kuvittamiseen ja aiempi tausta terveydenhuoltoalan ammattilaisena. Lääketieteellinen kuvittaminen on oppimisen tukena, kun oppijan täytyy ymmärtää monimutkaisia asioita, jotka on jo kirjoitettu mahdollisimman selkeään muotoon. Esimerkiksi lukihäiriöiset hyötyvät, kun tekstin rinnalla esitetään kuvia selkeyttämässä käsiteltyä aihetta. Onnistunut visuaalinen materiaali ei rajoitu kielimuureihin tai tekniseen termistöön.

Opinnäytetyön aikana tutkittiin lääketieteellisen kuvituksen suunnittelua ja toteutusta. Opinnäytetyön tuotoksena oli tarkoitus tehdä kaksi erilaista 3D-mallinnusta ihmisen sydäimestä, kokonainen ja poikkileikkaus. Opinnäytetyön tuotteesta olisi saanut hyvinkin laajan kokonaisuuden, käsitellen muun muassa erilaiset anatomiset poikkeamat, rytmihäiriöiden vaikutukset sydämeen ja sepelvaltimoiden tukkeumat. Rajaus kuitenkin tehtiin anatomisiin ja toiminnallisiin perusteisiin, jotta projekti ei venyisi yli vuoden mittaiseksi. Myöhemmin projektia olisi mahdollista jatkaa ja lisätä siihen uusia kokonaisuuksia.

Tämä opinnäytetyö jakautuu teoriaosuuteen, joka käy läpi vaiheittain tarvittavat työvaiheet suunnittelusta lopputoteutukseen. Teoriaosuuden jälkeen esitellään käytännön osuus, jonka tavoitteena on luoda alusta loppuun 3D-malli ihmisen sydäimestä ja sen poikkileikkauksesta.

2 Lääketieteellinen kuvittaminen

Lääketieteellisellä kuvittamisella tarkoitetaan kuvitusta, animaatiota tai muuta visuaalista materiaalia, joka antaa käyttäjälleen lääketieteellistä tai biologista tietoa, joka selkeyttää tekstin antamaa tietoa. Erona muuhun tiedelähtöiseen kuvitukseen lääketieteellisen kuvituksen on oltava selkeästi tulkittavaa ja hyödynnettävissä olevaa informaatiota. (Careers 2020.) Ensimmäisiä ihmiskehoa kuvaavia kuvituksia on löydetty Espanjan luolissa, joissa on kuvattuna raskaana oleva nainen ja sikiö hänen vatsassaan. Myöhemmin ihmiskeho on tallennettu kiveen, papyrukselle, silkkiin ja puuhun ympäri maailmaa, kuten Kiinassa ja Egyptissä 1500 vuotta eaa. (Tsarif & Ohry 2018.)

Ihmisen anatomia katsottiin omaksi lääketieteen alaksi jo 500 vuotta eaa. muinaisessa Kreikassa, ja lääketieteellinen kuvittaminen teki oman läpimurtonsa vasta keskiajan lopulla. Anatomian tutkimusten alkuaikoina ihmiskehoa pidettiin pyhänä ja sen sisältämää sielua ei suotu häiritävän, jotta kuoleman jälkeen se voisi palata esi-isänsä luo. Ruumiinavausten teko oli siis näin kiellettyä ja anatomian tutkiminen perustui suurelta osin filosofisiin mietteisiin ja eläimille tehtyihin ruumiinavauksiin. Ruumiinavauksia tehtiin muun muassa apinoille ja näitä havaintoja rinnastettiin ihmiseen, mikä aiheutti väärän tiedon opettamisen useita vuosisatoja. Anatomian kuvien kautta opetettiin taiteilijoita kauan ennen kuin niiden ajateltiin olevan hyödyksi lääketieteen harjoittajille. (Tsarif & Ohry 2018.)

Lääketieteen opetuksen oli usean vuosisadan ajan tasapainoiltava lain, uskonnollisten tahojen ja vihaisten ryhmittymien kanssa, jotka eivät suvainneet ihmiskehon ruumiinavauksia opetuksellisiin tarkoituksiin. Opetettu tieto oli usean vuosisadan takaista ja perustui pitkälti vain kirjoittajan omaan havaintoihin. Useimmiten kirjoitettu tieto hyväksyttiin oikeelliseksi perustuen kirjoittajan kuuluisuuteen. Suurelta osin opetus painottui anatomiaa kuvaavien teksteihin, mutta hiljalleen keskiajan lopulla anatomian merkitys ymmärrettiin ihmisen vaivojen tutkimisessa ja hoitamisessa, alkoi ruumiinavausten vastaisuus hälvetä ja lääketieteellinen kuvittaminen nousta tekstin rinnalle. (Tsarif & Ohry 2018.)

2.1 Lääketieteellisen kuvittamisen historia

Ennen ajanlaskumme alkua vuosina 350–280 kreikkalainen Herophilus kykeni tekemään muinaisessa Alexandriassa ensimmäisiä ruumiinavauksia rikollisille lyhyen hetken ajan, kun ruumiinavaukset sallittiin poikkeuksellisesti. Hänen kirjoittamiaan tekstejä käytettiin laajalti opetuksessa, mutta ne eivät kuitenkaan sisältäneet kuvitusta. Herophilus kirjoitti kaikkiaan yhdeksän kirjaa kätilöille ja anatomiasta, mutta nämä tuhoutuivat Alexandrian kirjaston tulipalossa vuonna 272 jaa. (Herophilus – Alexandrian physician 2020.)

Vuosien 130–200 aikana kreikkalainen lääkäri Galen ymmärsi anatomian tietämyksen ja tätä kautta ruumiinavausten tärkeyden lääketieteen oppimisen kannalta, mutta roomalainen laki kielsi häntä tekemästä tutkimuksia, joten hän kerrytti tietoa hoitamalla ja tutkimalla loukkaantuneita gladiaattoreita. Galen kuitenkin teki avauksia apinoille ja muille eläimille. Galen kuvaili onnistuneesti teksteissään aivohermot ja sydämen läpät, mutta tärkein löytö oli kumota 400 vuotta vanha opetus, jonka mukaan valtimot kuljettavat verta ilman sijaan. Kuitenkin vertaukset eläinten anatomiaan aiheuttivat vääriä oppeja ja tulkintoja. Galenin opit vaikuttivat lääketieteen opetukseen 1600-luvulle saakka. (Nutton 1998.)

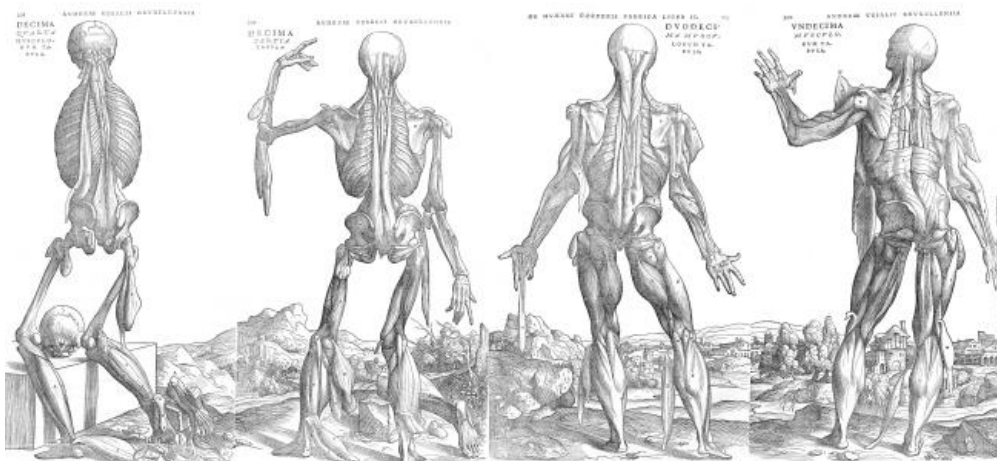
Ensimmäisiä varsinaisia lääketieteellisiä kuvituksia on keskiajalta, 1100-luvun jälkeen, vaikkakin ne ovat olleet vain yksittäisiä papereita. Ruumiinavausten tekeminen alettiin hiljalleen salli, ja tämä mahdollisti anatomian tarkemman tutkimuksen. (Tsarif & Ohry 2018.)

Yksi kuuluisimpia lääketieteellisiä kuvittajia on Leonardo da Vinci, joka todella ymmärsi anatomian suuremman merkityksen taiteessa ja lääketieteessä. Da Vinci käytti paljon aikaa tutkien ihmiskehon rakenteita ja sen toimintaa ja kehitti havaintojensa pohjalta lääketieteellisen kuvittamisen tärkeimpiä ydintekniikoita. Hän kuvasi havaintojaan niin kutsutuilla räjäytetyillä näkymillä ja poikkileikkausnäkymillä sekä piirsi kohteitaan neljästä eri kuvakulmasta. Kuvassa 1 esitellään da Vincin käyttämää räjäytettyä näkymää. Hän teki ruumiinavauksen lähes 30 ruumiille ja poikkesi suuresti aikalaisistaan tekemällä omista havainnoistaan itse piirroksia. Da Vinci kirjoitti ja kuvitti 20 vuoden aikana ainakin 12 teosta, jotka sisältävät lähes 800 piirrosta. Kuitenkin da Vincin perfektionistisen ja temperamenttisen luonteen sekä resurssien puutteen vuoksi töitä ei julkaistu suurelle yleisölle ennen kuin vasta 1700-luvulla (History of Medical Illustration 2020). Suuri osa Leonardo da Vincin anatomian tutkielmista ovat nykyisin Windsorin linnan kuninkaallisessa kirjastossa. (Tsarif & Ohry 2018.)



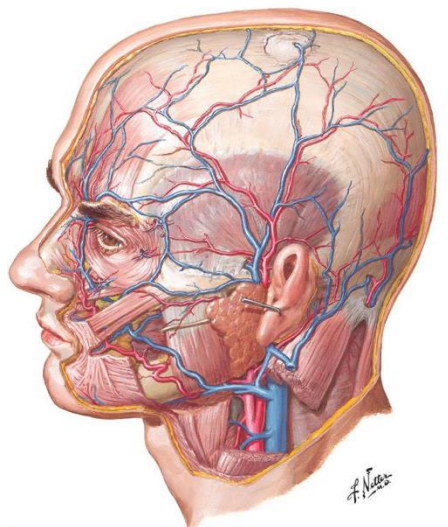
Kuva 1. Da Vincin tekemä tutkielma sikiöstä niin sanotulla räjäytetyllä kuvituksella. (Britannica, 2020.)

Andreas Vesalius mullisti anatomian opetuksen julkaisemalla 1543 *De Humanis Corporis Fabrica: Librum Septum* -teoksen, jonka kuvitukseen olivat osallistuneet useat eri taiteilijat, ja ne perustuivat todellisiin havaintoihin ja tutkimuksiin ihmisen anatomiasta. Kirjaa pidetään lääketieteen historian yhtenä merkittävimmistä teoksista. Kuvassa 2 on ote kirjan sisältämästä kuvituksesta, joka havainnollistaa ihmisen anatomian kerros kerrokselta. Historioitsijat katsovat, että tähän päättyi Galenin vuosisatojen ajan käytettyjen tekstien opetus ja oikea tieto alkoi vallata tietään. (Tsarif & Ohry 2018.)



Kuva 2. Ote Vesaliuksen *De Humanis Corporis Fabrica: Librum Septum*-teoksesta. (Park 2020.)

1900-luvun merkittävimpiä kuvittajia oli kirurgi Frank H. Netter (1906–1991), joka julkaisi kahdeksanosaisen kirjasarjan sisältäen hänen lähes kaikki 4000 vesiväriä. Kuvassa 3 on Netterin tekemä tarkka vesiväri pään verisuonista. Kirjoista on painettu uusia versioita ja lisätty muiden kuvittajien tekemiä havaintoja, ja nykyisin ne sisältävät myös digitaalisia laajennoksia. Käyttäjät voivat tutkia tarkemmin Netterin kuvituksiin perustuvia 3D-malleja. (Tsarif & Ohry 2018.)



Kuva 3. Frank H. Netterin vesivärikuvitus pään verisuonista. (Lerner 2013.)

2.2 Kehityksen mukana

Lääketieteen tekstien ja kuvitusten jakaminen suurelle yleisölle kulki yhdessä painotekniikan kehittymisen kanssa. Painotekniikka hyödynsi ensin kuparipiirroksia, ja kehityksen myötä painokoneet pystyivät painamaan suuria määriä tekstiä ja erittäin hyvälaatuisia kuvia. Seuraava mullistus oli digitaalisen teknologian suomat mahdollisuudet jakaa tietoa CD-levyillä ja nykyisin internetin välityksellä. (Tsarif & Ohry 2018.)

Teknologian kehittyminen on mahdollistanut anatomian tarkemman ja paremman tutkimuksen, joista tärkeimpänä voidaan pitää kuvantamistekniikkaa. Ihmisen kehoa voidaan tutkia nykyisin ilman leikkauksia kuvaamalla kehoa muun muassa röntgenillä ja tietokonetomografialla.

Nykyaikana lääketieteellisten kuvittajien on oltava luovia työssään ja kehitettävä tapa, jolla yhdistää tiede ja kuvataide toisiinsa. Työ vaatii moniammatillista yhteistyötä tutkijoiden, lääkärin ja

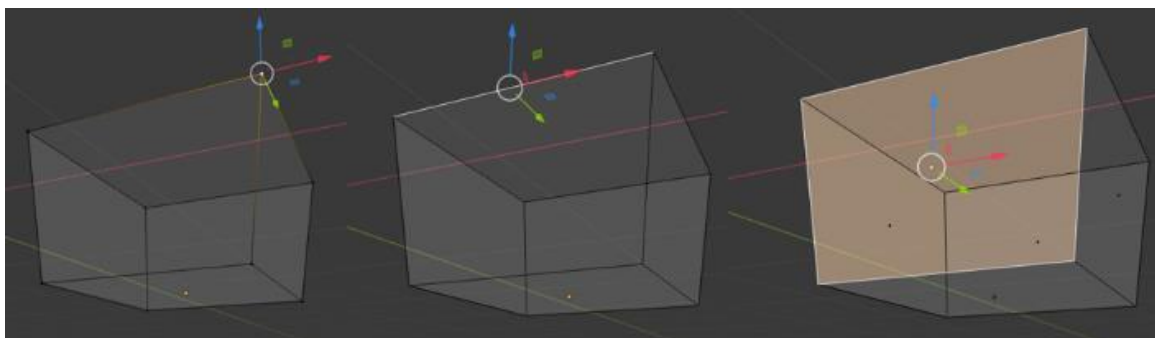
muiden alan ammattilaisten kanssa, jotta kuvittajan tekemä työ on oikeellinen ja luotettava tiedon lähde. Lisävaatimuksena kuvittajan työhön on pysyä mukana tieteen kehityksessä. Uusia löytöjä ja toimenpiteitä tehdään jatkuvasti, kuten robotiikan käyttö kirurgiassa. Nykytekniikan kehittyminen kuitenkin hyödyttää myös kuvittajaa, jolloin on mahdollista käyttää tietokoneella tehtävää grafiikkaa, jolloin työnteko on nopeampaa ja monipuolisempaa (History of Medical Illustration 2020).

3 3D-mallinnus ja animointi

3D mallinnuksella tarkoitetaan kolmiulotteisen objektin, kuten tuolin tai talon, matemaattista esitystä 3D ohjelmassa, jota voidaan tarkastella jokaisesta kulmasta. Objekteja on mahdollista myös muokata suurentamalla, pyörittämällä tai tehdä muita halutun laisia muutoksia. 3D-mallinnusta hyödynnetään useilla aloilla, kuten viihdeteollisuuden animaatioelokuviissa ja videopeleissä sekä arkkitehtuurissa. (Slick 2020.)

3.1 3D-mallinnuksen perusteet

Polygonilla tarkoitetaan monikulmiota, joka muodostuu vertekseistä, reunoista ja pinnoista. Manipuloimalla polygonien rakennetta saadaan aikaan 3D-malli. **Verteksi** on piste, joka yhdistää kaksi tai useamman reunan toisiinsa. Verteksiä voidaan manipuloida 3D tilassa moneen suuntaan. **Reunaksi** kutsutaan verteksin välistä reunaa, joka samalla myös yhdistää toisiinsa kaksi pintaa. 3D malli voi koostua kymmenistä tai tuhansista **pinnoista**, jotka muodostuvat alueesta, jota yhdistää verteksit ja reunat. (Petty 2020; Slick 2020.) Kuvasta 4 voi nähdä 3D-mallinnetun kuution muodostumiseen vaadittavat osat.



Kuva 4. Vasemmalla olevassa kuutiossa korostettuna verteksi, keskellä reuna ja oikealla pinta.

Mallintaminen voidaan aloittaa primitiivisistä muodoista, kuten kuutioista, palloista tai tasaisesta neliöstä. Mallinnuksen aikana polygoneja voidaan jakaa, jolloin saadaan lisää verteksejä, reunoja sekä pintoja ja niitä manipuloidaan, kunnes saadaan haluttu lopputulos. 3D-ohjelmistot sisältävät monenlaisia työkaluja, joiden avulla mallia voidaan muokata. Yleisin työkalu on peilaus, jolloin

riittää, että mallintaja muokkaa vain toista puolta ja siihen tehdyt muutokset heijastuvat vastakkaiselle puolelle, esimerkiksi koira, joka on samanlainen molemmin puolin kehoa. (Petty 2020.)

3D mallintamista on mahdollista tehdä myös veistämällä digitaalisesti, tätä voidaan verrata tosielämän saven veistämiseen ja muokkaamiseen. Useimmin digitaalista veistämistä hyödynnetään orgaanisten muotojen aikaan saamiseksi, kuten ihminen ja puu. Veistäminen aloitetaan primitiivimuodoista, kuten pallo tai kuutio, joita voidaan myös yhdistää, jotta saadaan lopullista mallia muistuttava muoto ja säästetään työaikaa (Gaget 2019).

Veistämiseen käytettävissä ohjelmissa hyödynnetään erilaisia työkaluja ja siveltimiä, joiden avulla voidaan nipistää, laajentaa ja siirtää materiaalia ja luoda erilaisia pintamateriaaleja ja kopioida todellista elämää. Digitaalinen veistäminen vaatii tehokkaan tietokoneen, sillä veistämisen aikana voidaan manipuloida miljooniakin polygoneja, jolloin vaaditaan tietokoneelta paljon prosessointitehoa (Gaget 2019).

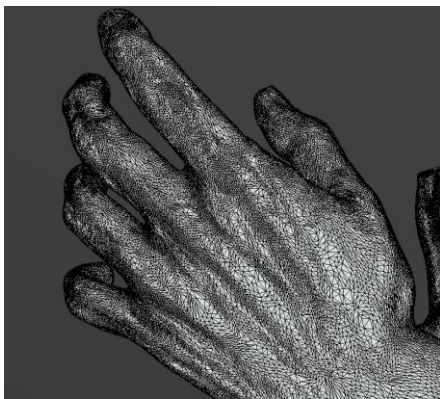
Veistäminen aloitetaan tekemällä ensin suuret linjat ja suurimmat muodot. Työn edetessä aletaan hiljalleen lisäämään yksityiskohtia, aivan kuten perinteisessä kuvanveistossa ensimmäisenä haetaan kivistä tai puusta esille suuret muodot. Digitaalista veistämistä käytetään useimmin orgaanisten muotojen ja mallien teossa, kuten puut ja ihmiset. Malleista saadaan elävämmän näköisiä lisäämällä esimerkiksi arpia, rosoja ja muita epätäydellisiä kohtia. Mitä yksityiskohtaisempi veistos on, sitä enemmän siinä on polygoneja. Korkean polygonilukeman omaavaa veistosta kutsutaan korkeapolygoniseksi malliksi. (Heginbotham 2020). Kuvassa 5 on Tristan Liun digitaalisesti veistämä veistos, joka on viimeistelty kaikkia yksityiskohtia myöten.



Kuva 5. Korkeapolygoninen digitaalinen veistos. (Liu 2018.)

3.2 Topologia ja retopologia

Topologialla tarkoitetaan verteksien ja reunojen sijoittumista 3D-mallin pinnalle, siis eräänlaista pohjapiirustusta. 3D-mallinnuksessa tulisi aina tähdätä hyvään ja sulavan näköiseen topologiaan, jolloin mallin renderöityminen nopeutuu ja häiriöiden mahdollisuus on lähes olematon. (Topology 2020.) Kuvassa 6 on nähtävissä digitaalisesti veistetyin käden topologia, jota ei ole vielä siistitty ja yksinkertaistettu.



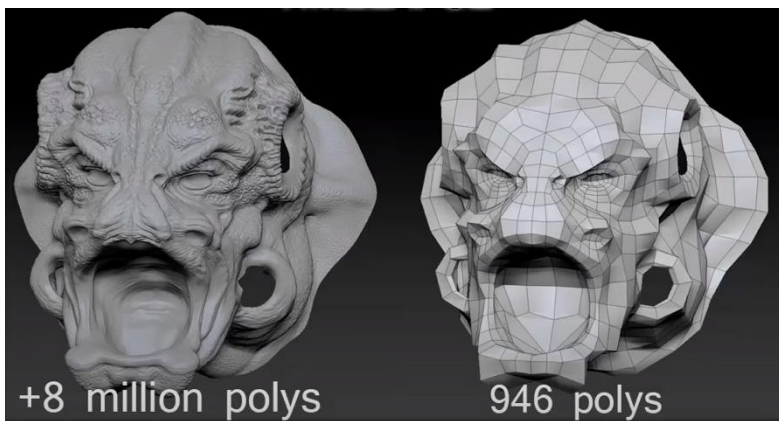
Kuva 6. Kuvankaappaus digitaalisesti veistetyin käden topologiasta, jota ei ole vielä optimoitu. (Rumplestiltskin 2020.)

Tietokoneelta vaaditaan suurta tehokkuutta, jotta se voi esittää suuria määriä polygoneja. Tämä ei kuitenkaan ole mielekäs esimerkiksi videopeleissä, joissa pyritään mahdollisimman pieniin tiedostokokoihin, jotta peli toimii sulavasti ilman hidasteluita. Samoin animaatioiden teko 3D-malleilla on sujuvampaa. Siksi korkeapolygonisten mallien sijaan käytetään matalan polygonin malleja, joiden päälle heijastetaan korkeapolygonisen mallin yksityiskohdat.

Prosessia kutsutaan retopologiaksi, jossa 3D-mallin rakenne tehdään uudelleen. Kuvassa 7 on esimerkki keskeneräisestä retopologiasta. Korkean resoluutiomallin päälle rakennetaan uusi pienemmästä määrästä polygoneja sisältävä malli, joka noudattaa korkean resoluutiomallin muotoja ilman yksityiskohtia. Retopologia voidaan tehdä joko käsin tai sitä varten kehitetyillä ohjelmistoilla. (Petty 2020). Kuvassa 8 on vertailu polygonimäärästä retopologian jälkeen. Matalapolygonista malli on vaivattomampi jatko työstää matalamman polygonimäärän ansiota.



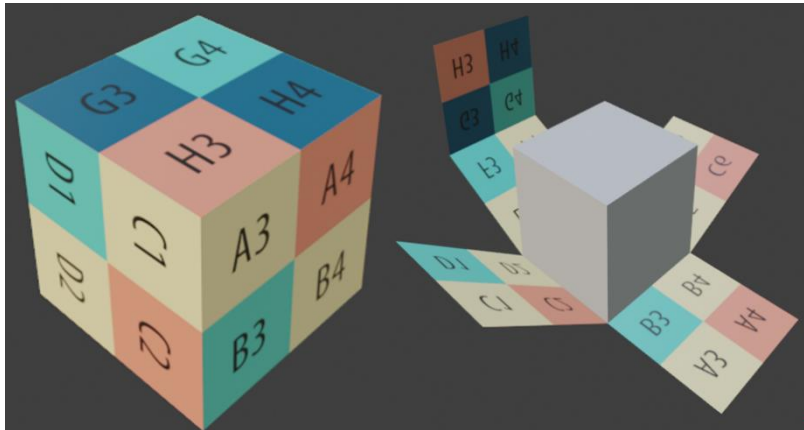
Kuva 7. Esimerkki retopologian työvaiheesta. (Frankiezafe 2020.)



Kuva 8. Yli 8 miljoonan polygonin digitaalinen veistos uudella topologialla, jossa alle tuhat polygoneja retopologian jälkeen. (Onirica visual studio 2014.)

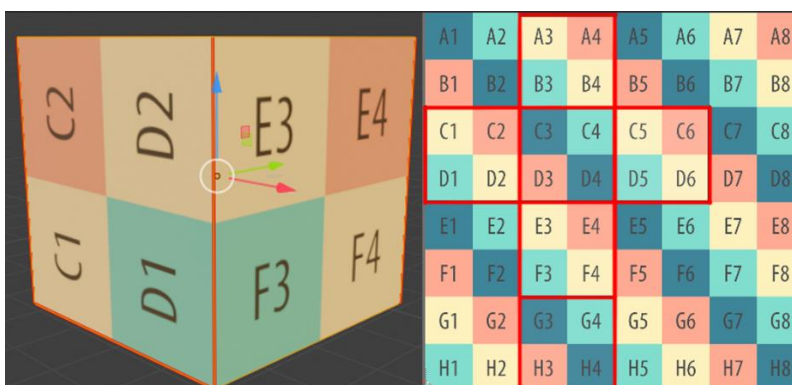
3.3 UV

Kun halutunlainen 3D malli on valmis, puretaan se tasaiselle kaksiulotteiselle alustalle, UV-kartaksi, jolloin malliin voidaan lisätä värejä ja erilaisia pintoja. Purkamisprosessia kutsutaan UV:n unwrappaukseksi. Kuvassa 9 on kuvainnollinen esitys, miten 3D-mallin pinta voidaan esittää 2D:nä. U- ja V-kirjaimilla tarkoitetaan horisontaalisia ja vertikaalisia akseleita kaksiulotteisella tasolla, jolloin ne voidaan erottaa kolmiulotteisen tilan X-, Y- ja Z-koordinaateista. Reunat ja pinnat UV-kartalla vastaavat reunoja ja pintoja 3D-mallissa. (Denham 2020.)

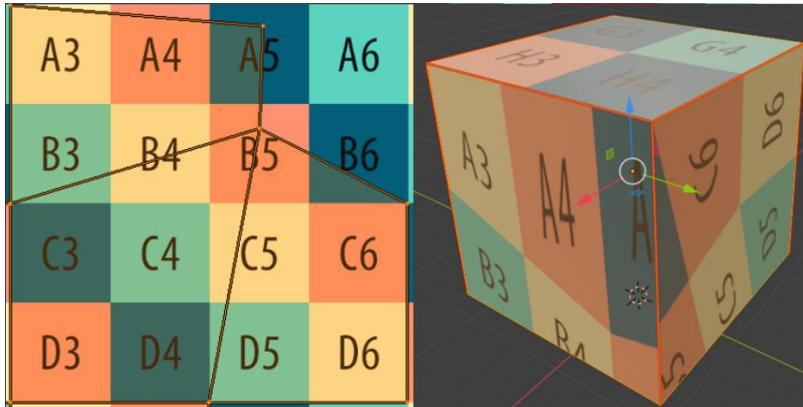


Kuva 9. 3D-kuution kuvainnollinen purkaminen 2D:ksi.

Tärkeä osa unwrappausta on 3D-mallin saumat. Sauman avulla voidaan malli purkaa helpommin kaksiulotteiselle tasolle. Mallintaja voi itse määrittää saumojen sijainnin, ja ne tulisikin ottaa huomioon heti mallinnuksen ensivaiheessa, sillä saumat voivat aiheuttaa tekstuureissa vääristymiä (kuva 11). Ne yleisesti pyritään asettelemaan mahdollisimman huomaamattomaan kohtaan, kuten mallin pohjaan tai toisen objektin taakse, jolloin katsoja ei sitä huomaa. Mallin UV-unwrappausta voi seurata asettamalla mallille ruudullisen tekstuurin, joka näyttää, miten hyvin UV-unwrappaus on onnistunutkin kuten kuvassa 10 havainnollistetaan. Kuvan 10 kuution sivut ovat tasaiset ja vääristymiä ei ole, kuten kuvan 11 kuution UV-kartta on vinossa ja se näkyy myös kuution pinnalla. Nykyisin 3D-ohjelmistot voivat itse asettaa saumakohtat, mutta lopputulos ei monimutkaisemmissa malleissa ole yleisesti halutunlainen, ja sitä joutuu jälkeen päin muokkaamaan itse. Tästä voi tulla suurempi työmäärä kuin itse asettelemalla saumat.



Kuva 10. Kuution vasemalla sivulla punaisena korostetut reunat ovat mallintajan itse asettamia saumojen. Oikealla tekstuurikartta, jonka päälle asetettu UV-kartta (punaisella korostettu saumakohtat) heijastaa sen kuution.



Kuva 11. Esimerkki vääristyneestä UV-kartasta kuutiossa, jolloin tekstuuri ei ilmene miellyttävällä tavalla

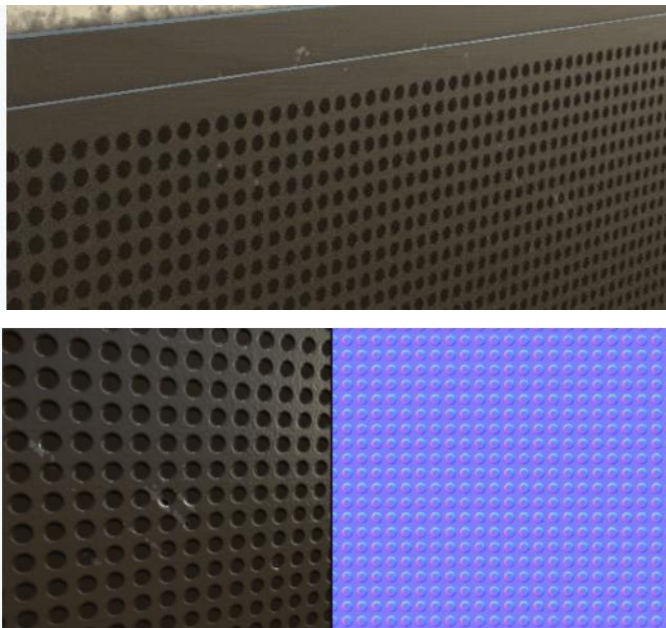
3.4 Tekstuointi

3D-mallia elävöitetään tekstuurikarttojen, materiaalien ja shaderien avulla. Näin niihin saadaan väriä ja erilaisia pintakuvioita, kuten puun syitä. Ne eivät kuitenkaan vaikuta 3D-mallin muotoon, mutta ovat olennainen osa mallin visuaalista ilmettä. Teksturoinnissa 2D-kuvia tuotetaan 3D-mallien viimeistelyyn. 3D-mallit vaativat tekstuurikoordinaatit, jotta tekstuuri voidaan niin sanotusti kietoa mallin ympärille. Tekstuurikarttoja on useita erilaisia, joilla kontrolloidaan shaderin käyttäytymistä mallissa, kuten normaali- ja diffuusikartat. Karttoja voidaan luoda lukuisilla eri tavoilla, kuten valokuvien muokkauksella tai digitaalisesti maalaamalla. (Texturing 2020.) Karttoja on lukuisia erilaisia eri käyttötarkoituksiin, ja tässä raportissa esitellään ainoastaan projektissa käytetyt kartat.

Diffuusikartan avulla mallille saadaan aikaan värit, ja siitä voidaan käyttää myös nimitystä albedokartta. Värit ovat pohjavärejä, jolloin valo on tasaisesti jakautunut pinnalle ja siinä ei ole lainkaan mitään heijastuksia tai kohoumia. Diffuusikarttaan voidaan kuvankäsittelyohjelmilla, kuten Photoshopilla, digitaalisesti maalata varjoja ja valoja, jolloin vähennetään muiden karttojen määrää ja muita valaistusefektejä.

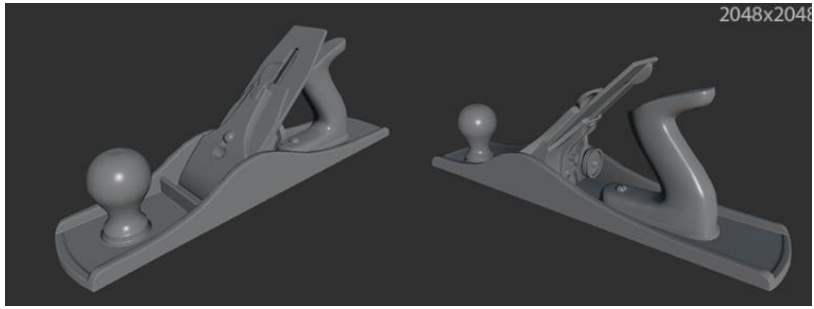
Normaalikartta tuo malliin erilaisia yksityiskohtia, ja niitä tehdään useimmiten korkean polygonimäärän malleista, jotta säästetään polygoneja. 3D-malleista pyritään samaan tiedostokool-

taan mahdollisimman pieniä, sillä esimerkiksi videopeleissä ne käyttäisivät liian suuren osan laitteen tehosta. Kuvassa 12 on esimerkki normaalikartan luomasta yksityiskohtien ja syvyyksivaikutelmasta radion kaiuttimen pintaan. Sanalla normaali tarkoitetaan geometrista vektoria tai viivaa, joka on kohtisuorassa pintaan tai esineeseen. Normaaliavulla määritetään valon käyttäytyminen polygonin pinta vasten ja saadaan aikaan vaikutelma varjojen syvyyksistä. Normaalikartat käyttävät hyödykseen RGB-tietoa, eli punaista (R), vihreää (G) ja sinistä (B) väriä, jotka kääntyvät XYZ-koordinaatistoon. (Understanding Normal Maps 2015.)

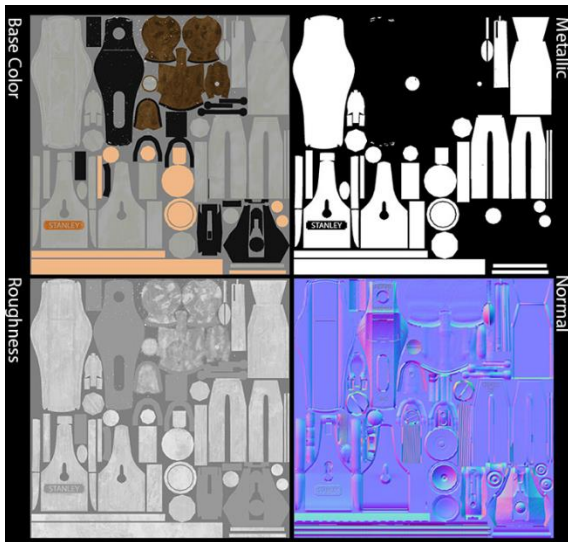


Kuva 12. Yläpuolella kuvankaappaus radion kaiuttimesta ilman normaalikarttaa ja alapuolella vasemmalla sama kohta normaalikartan kanssa. Oikealla normaalikartta. (Understanding Normal Maps 2015.)

Karkeuskartta määrittelee, kuinka karkea tai sileä mallin pinta on. Mitä sileämpi pinta on, sitä enemmän se heijastaa valoa ja täysin karkea pinta ei heijasta valoa laisinkaan. **Metallikartan** avulla säädellään, kuinka paljon valoa heijastuu mallin pinnalta. Kuvassa 13 on nimimerkki Dustinmaertzin mallintama puuhöylä ilman tekstuurikarttoja. Kuvassa 14 on nähtävillä puuhöylän valmiit tekstuurikartat, ja kuvassa 15 on lopullinen 3D-malli puuhöylästä tekstuurikarttojen kanssa.



Kuva 13. Käyttäjänimi Dustinmaertzin puuhöylä-3D-malli ilman karttoja. (Dustinmaertz 2014.)



Kuva 14. Puuhöylän teksturointiin käytetyt kartat. Ylhäällä vasemmalla diffuusikartta ja oikealla metallikartta. Alhaalla vasemmalla karkeuskartta ja oikealla normaalikartta. (Dustinmaertz 2014.)



Kuva 15. Valmis puuhöylä kaikkien tekstuurikarttojen kanssa. (Dustinmaertz 2014.)

3.5 Tekstuurien beikkaus

Beikkaus on yleisesti käytetty termi 3D-grafiikan teossa, ja sen avulla tallennetaan tietoa etukäteen, jotta reaaliaikainen tietokoneen renderöinti olisi mahdollisimman resursseja säästävää. Beikkauksessa tietoa tiivistetään ja sitä tallennetaan kestävämpään muotoon. Beikkausta voidaan käyttää tekstuureihin, animaatioihin ja valaistukseen. (Introduction 2020.) Raportissa käydään läpi vain tekstuurien beikkaus, sillä muita beikkauksia ei käytetty projektin aikana. Tekstuurien beikkauksella saadaan aikaan edellä esiteltyjä karttoja, eli 3D-mallin pintatekstuurit muunnetaan 2D-kuvatiedostoiksi.

Beikkauksen aikana beikkaustyökalu aloittaa tietyltä etäisyydeltä useimmiten matalan polygonin kohdemallia ja luo säteet sisäänpäin korkeapolygonista mallia, jonka yksityiskohdat halutaan tallentaa 2D-kuvatiedostoon. Säde taltioi pinnan yksityiskohdat tekstuurikarttaan, kuten normaali- tai diffuusikarttaan. (Texture Baking 2020.) Kuvasta 16 huomaa normaalikartan selkeän vaikutuksen 3D-mallin visuaaliseen ilmeeseen.



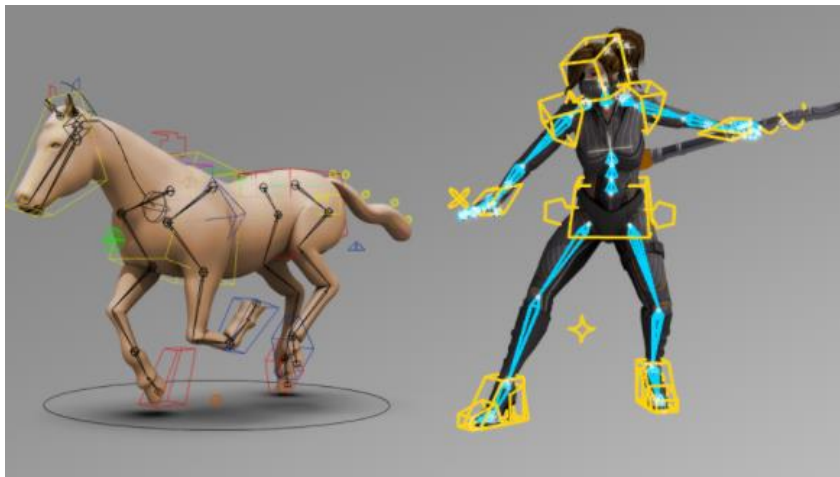
Kuva 16. Molemmat ovat matalan polygonin malleja, mutta oikealla puolella malliin on lisätty korkeapolygonisesta mallista beikattu normaalikartta, jolloin siihen saadaan lisättyä yksityiskoh-
tia. (Petaykin 2020.)

3.6 3D-animaatio

3D-animaatio on kolmiulotteisessa tilassa olevien objektien liikuttamista ja manipulointia muuttamalla kokoa tai kiertoa. Animoitavia objekteja voidaan liikutella kolmiulotteisessa tilassa XYZ-koordinaatistossa. 3D-animaatioita käytetään monipuolisesti eri tarkoituksiin, kuten videopeleissä tai opetuksessa.

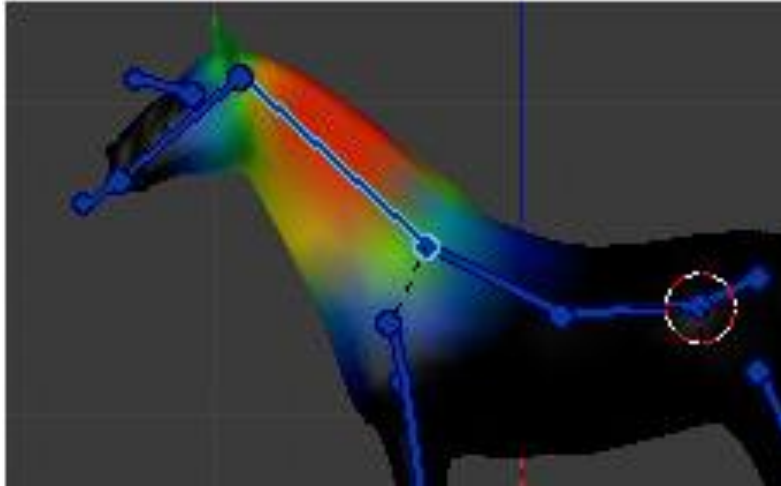
3D-animaation teko vaatii usein 3D-mallin luustamista, jolloin mallille luodaan eräänlainen digitaalinen luuranko. Luuranko mahdollistaa mallin liikuttamisen ja realistisen kaltaisten liikkeiden tekemisen, kuten kävelemisen jäljittelemällä nivelien liikkeitä. Luustaminen lisää animaatioiden tekoon joustavuutta ja nopeuttaa työntekoa. (Petty 2020.)

Luiden avulla malli saadaan halutunlaisiin asentoihin niin kutsuttuihin keyframeihin ja ne voidaan tallentaa aikajanelle, jolloin käytetty animaatio-ohjelma voi laskea liikkeiden välille sulavan liikkeen. Näin jokaista raajan tai muun osan sijaintia ei tarvitse itse asetella. Jokainen liikkeen muutos tallentuu frameen, jotka peräkkäin sijoitettuna muodostavat animaation. Kuvassa 17 on nähtävillä esimerkit hevosen ja ihmisen luustamisesta.



Kuva 17. Esimerkkejä hevosen ja ihmisen luustamisesta (5 Tips for Character Rigging 2014.)

Painomaalauksen avulla luiden vaikutusta malliin saadaan muokattua eräänlaisen lämpökartan avulla. Mitä punaisempi väri, sitä enemmän luu vaikuttaa kyseiseen kohtaan, kuten kuvasta 18 voi nähdä painomaalauksen vaikutuksen hevosen kaulaan. Painomaalausta käytetään useimmin luustamisen yhteydessä, mutta sitä voidaan myös käyttää kontrolloimaan partikkelien määrää tietyllä alueella, kuten hiusten tiheyttä tai puiden määrää (Weight Paint 2020).



Kuva 18. Vaalean sinisellä korostettu luu vaikuttaa kaikista eniten hevosen kaulaan ja sen vaikutus vähenee turpaa ja selkää kohden. (Weight Paint 2020.)

3.7 Modifikaattorit

3D-ohjelmat sisältävät modifikaattoreiksi kutsuttuja työkaluja, joiden avulla 3D-mallia saadaan työstettyä tavalla, joka ei ole mahdollista tai on liian aikaa vievää manuaalisesti tehtäväksi. Ohjelmissa laskee automaattiset vaikutukset malliin riippuen modifikaattorin toiminnasta, kuten lisäämällä tason paksuutta tai lisäämällä polygonien määrää, jolloin mallin pinta useimmin silottuu ja pyöristyy enemmän. Modifikaattorit voivat olla väliaikaisia, tai ne voidaan liittää osaksi mallin lopullista rakennetta. (Introduction 2020.)

4 3D-mallintamisen käytännön vaiheet

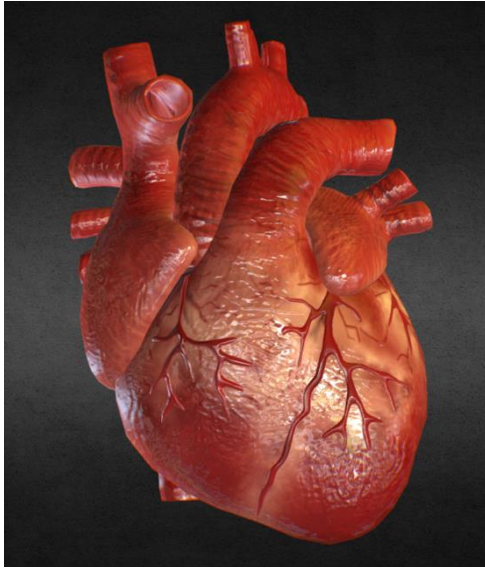
Projekti muodostui useasta vaiheesta, joista jokainen muodosti tärkeän osan kokonaisuutta. Yhtäkään osuutta ei voinut jättää tekemättä tai tehdä huonosti, jolloin se olisi vaikuttanut negatiivisesti myöhempisiin vaiheisiin ja itse lopputulokseen. Projektin toteutustapa mahdollisti kuitenkin joustavan työskentelyn. Työstämiseen varattiin riittävästi aikaa ja tarpeen tullen projektia voitiin jatkaa syksyllä 2020 asti.

Projektin toteutukseen käytettiin pääasiassa kahta eri ohjelmistoa, Blender ja Photoshop. Blender on avoimeen lähdekoodiin perustuva 3D-mallinnusohjelma, jolla voidaan luoda alusta loppuun 3D-malleja, teksturoida ne, animoida ja leikata videoita. Photoshop on monikäyttöinen kuvanmuokkausohjelma, jonka on kehittänyt Adobe. Photoshop oli alun perin tarkoitettu valokuvien muokkaukseen, mutta sitä käytetään myös laajasti kuvitusten teossa, kuten digitaalinen maalaminen.

4.1 Referenssit

Opinnäytetyö alkoi suunnittelemalla tuotteen toteutustapa ja sen tyyli. Lähtökohtaisesti oli selvää, että tuote tulee olemaan 3D-mallinnettu ja animoitu. Näin tilaaja ja tekijä saavat siitä suurimman mahdollisen hyödyn; tilaajalle uudenlaista oppimismateriaalia omaan käyttöön ja tekijän omat taidot ja osaaminen 3D-mallinnuksessa lisääntyisivät projektin aikana.

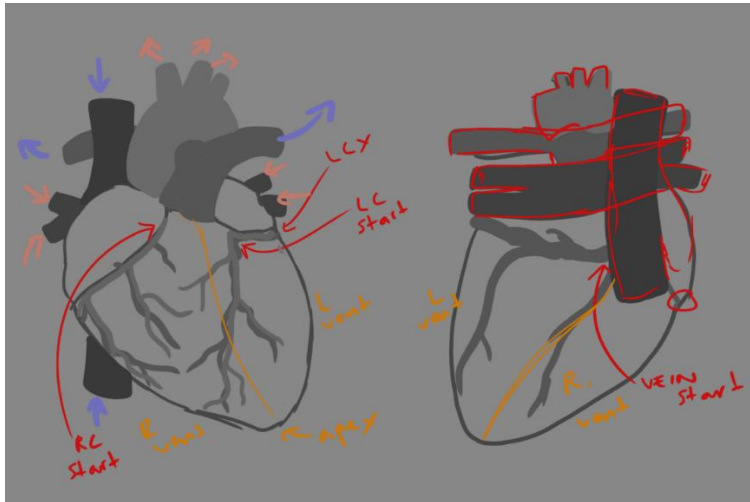
Suunnitelman jälkeen alkoi referenssimateriaalin keräys, jonka aikana tuotteen lopullinen toteutustyyli selkenisi. Läpikatsaus internetissä olemassa oleviin sydämen anatomiamalleihin oli kirjava, mutta selkeästi jakautui tyyleitään 2D- ja 3D-materiaalin välillä. 2D materiaali oli suurilta osin toteutettu tyylitellysti, jolloin se ei ollut täysin realistisesti toteutettu, mutta antoi kaiken tarvittavan informaation käyttäjälleen. 3D:nä toteutetut sydämet oli pääasiallisesti realistisella tyyllillä tehty, ja niissä oli usein myös animaatio pumppaustoiminnasta. 3D-malleista myös osassa oli havaittavissa anatomisia virheitä, kuten sepelvaltimoita ei ollut sijoitettu oikein tai osa niistä puuttui. Kuvassa 19 on esimerkki sepelvaltimoiden vääränlaisesta rakenteesta.



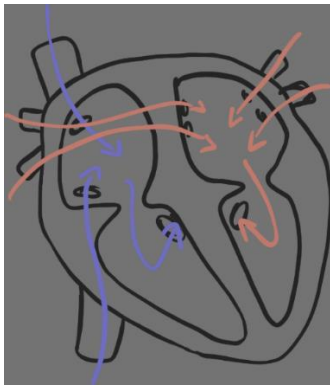
Kuva 19. Esimerkki väärinsijoitetuista sepelvaltimoista. Oikea sepelvaltimo on liian pieni ja vasen kiertävä sepelvaltimo puuttuu. (Paschalis 2015.)

Tylliltään projekti poikkesi aiemmin todetusta valtavirrasta; 3D-malli, joka on ilmeeltään tyyli- tely, yksinkertainen ja sarjakuvamainen. Tähän ratkaisuun päädyttiin pohdittua tilaajan todellista tarvetta tyylitellyn ja realistisen tyylin välillä. Hyvin harva ensihoitaja tulee näkemään todellista ja elinkelpoista ihmissydäntä rintakehän ulkopuolella, jolloin hänen työnkuvansa olisi jo muutenkin rajoittunut. Ensihoitajalle kuitenkin tärkeintä on ymmärtää sydämen anatomia ja fysiologia, jol- loin hän voi tehdä johtopäätöksiä ja työdiagnooseja potilaan tilasta. Tämä tietämys myös auttaa ensihoitajaa arvioimaan ja ennakoimaan mahdolliset muuttuvat tilanteet potilaan voinnissa.

Projektin alkuvaiheessa tutkittiin ja kuvattiin lampaan sydän, sillä sen rakenne on erittäin lähellä ihmisen sydäntä. Näin kerättiin omaa referenssimateriaalia ja kyettiin tarkastelemaan sydäntä useammasta kulmasta. Myös valtimoiden ja laskimoiden muodot selkeytyivät enemmän. Kerät- tyjen referenssikuvien pohjalta luonnosteltiin visuaalinen suunnitelma sydäimestä neljästä suun- nasta. Sydämen poikkileikkauksesta tehtiin myös edestä yksi luonnostelma. Luonnostelmien poh- jalta voitiin lähteä toteuttamaan 3D-mallia, jotka ovat nähtävillä kuvissa 20 ja 21.



Kuva 20. Sydämen konseptit edestä ja takaa.



Kuva 21. Sydämen poikkileikkauksen konsepti verenkierrosta.

4.2 Käytetyt ohjelmistot

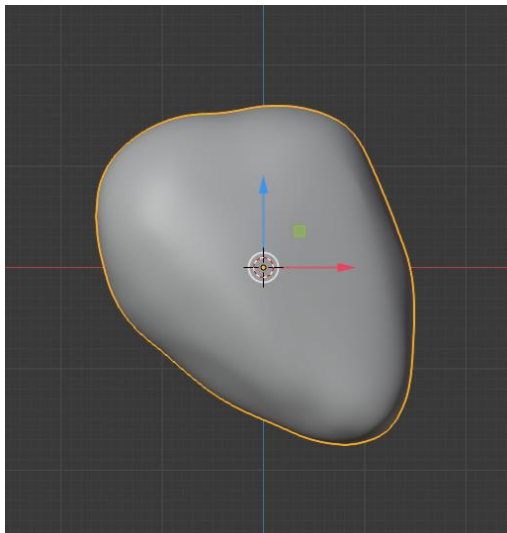
Projektin toteuttaminen tapahtui kahdella graafisella ohjelmistolla. Alun konseptointiin ja suunnitteluun käytettiin Adobe-yhtiön Photoshop-kuvankäsittelyohjelmistoa. Photoshop on alkujaan kehitetty valokuvien muokkaukseen, mutta on saavuttanut suuren suosion digitaalisen taiteen tekijöiden parissa, sen monipuolisten ja tehokkaiden ominaisuuksien vuoksi. Photoshop soveltuu digitaaliseen maalaamiseen ja muuhun graafiseen tekemiseen.

Mallintaminen, UV-unwrappaus, animaatiot ja kaikki muut 3D-työvaiheet tehtiin Blender 2.8:lla. Blender on vapaaseen lähdekoodiin perustuva 3D-ohjelmisto, joka on viimeisen 20 vuoden aikana

kehittynyt kilpailemaan muiden kaupallisten 3D-ohjelmistojen rinnalle ammattimaiseen käyttöön. Blenderin käyttö oli entuudestaan tuttua, ja suurin yksittäinen uusia asia oli animaation tekkoon liittyvät vaiheet, kuten luustaminen ja painomaalaus.

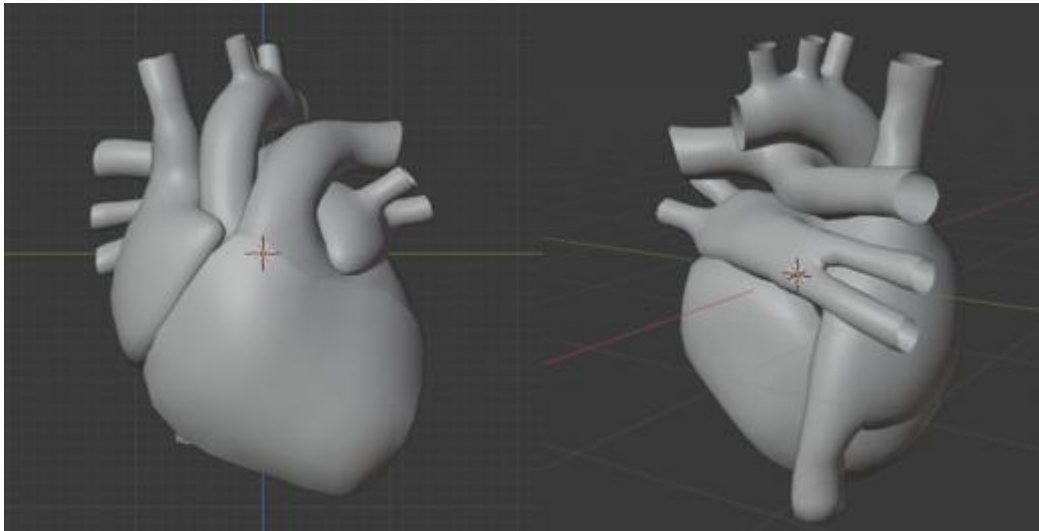
4.3 Digitaalinen veistäminen

Sydämen veistäminen alkoi Blender 2.8-versiossa. Blenderin veistämistila mahdollisti nopean aloittamisen pallosta, jonka verteksin lukumäärää oli kasvatettu valmiiksi. Suurien massojen liikkuttamista varten tarkoitettulla tartuntatyökalulla saatiin nopeasti aikaan karkea muoto sydämen eteisistä ja kammioista, kuten kuvassa 5 on nähtävissä.



Kuva 22. Veistämisen alkuvaihe, jossa sydämen muoto alkaa hahmottumaan.

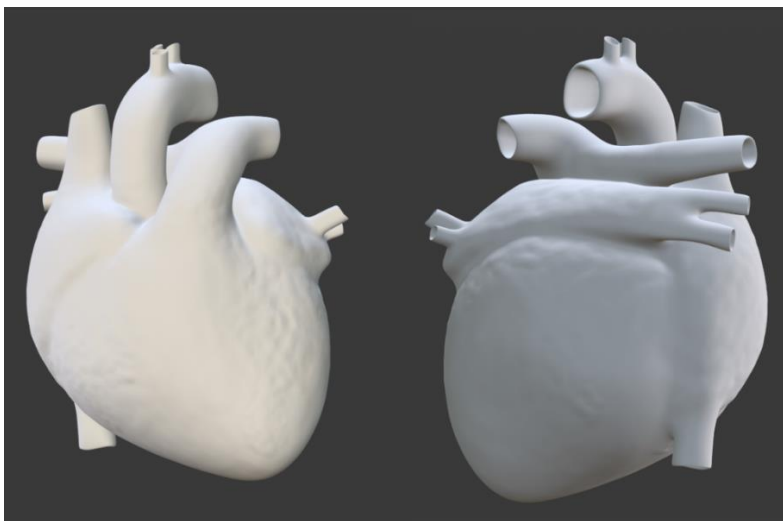
Kun sydämen ylimalkainen muoto oli saatu aikaiseksi, liitettiin siihen primitiivisylintereistä tehdyt isot verisuonet. Isoja verisuonia oli muokattu muistuttamaan konseptikuvien pohjalta tehtyjä suunnitelmia. Suonien seinien paksuuden lisäämiseksi käytettiin kiinteittävä-modifikaattoria, jolla lisättiin seinämän paksuutta. Suonien yhteyteen mallinnettiin myös oikea ja vasen eteinen, jotka ovat erotettavissa kuvassa 23 ennen niiden liittämistä ja silottamista sydänlihakseeseen. Kun isojen suonien muoto oli tyydyttävä, liitettiin ne osaksi aiemmin veistettyä sydänlihasta ja niistä muodostettiin yhtenäinen verkkorakenne.



Kuva 23. Isot suonet lisättyinä sydämeen, vasemmalla näkymä edestä ja oikealla takaa.

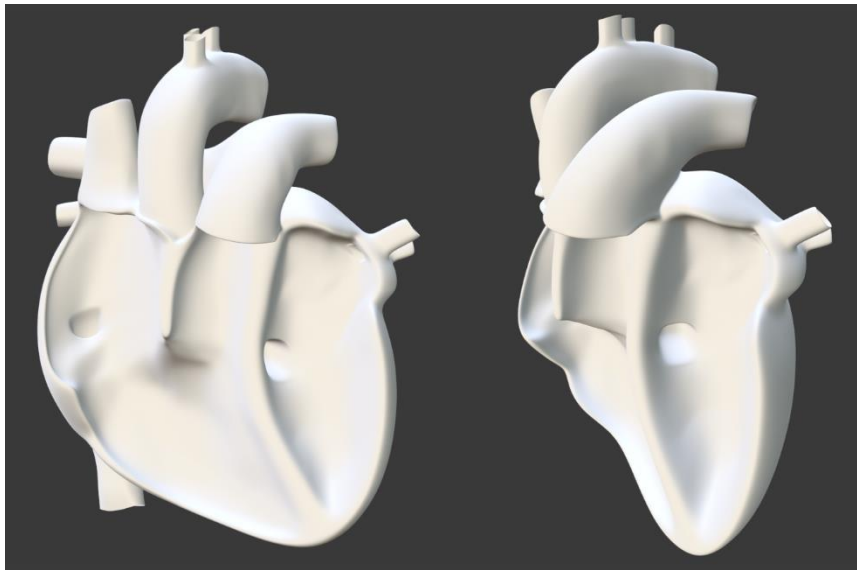
Veistäminen jatkui häivyttämällä osien liitoskohtia ja silottelemalla osia yhtenäiseksi. Isojen suonien pituuksia lyhennettiin, jotta ne eivät veisi liikaa huomiota kokonaisuudelta. Samoin verisuonien päät ”suljettiin”, eli käyttäjä ei voi katsoa sydämen sisään ja nähdä mallin sisäpuolta. Näin ei tarvinnut mallintaa sydämen sisäosia.

Hiljalleen sydäimestä alkoi muodostumaan siloteltu ja halutunlainen malli, joka miellytti silmää ja ensihoidon vastuulääkäriltä saadun palautteen perusteella oli anatomisesti oikeanlainen. Sydämen pintaan lisättiin vielä pientä kuviointia, jolla lisättiin mielenkiintoa pinnan muotoon. Lopullinen veistos edestä ja takaa on esiteltyä kuvassa 24.



Kuva 24. Valmis sydämen digitaalinen veistos

Poikkileikkauksen veistäminen onnistui nopeasti hyödyntämällä jo valmista kokonaista sydämen mallia. Koska aiemmin veistetty sydän oli kiinteä sisäpuolelta, onnistui eteisten ja kammioiden veistäminen poistamalla ylimääräistä materiaalia sydämen etuseinästä. Ensin veistettiin esille eteisten ja kammioiden karkeat muodot. Oikean ja vasemman puolen väliin oli tärkeää jättää väliseinä, jota pitkin sähköinen järjestelmä etenee kohti sydämen kärkeä ja on olennainen osa sydämen anatomista rakennetta. Myös oikean eteisen ja keuhkovaltimon väliin jätettiin seinämä erottamaan ne toisistaan. Kun pääasiallinen muoto oli saatu selkeäksi, voitiin poikkileikkauksen sisäpintoja alkaa siloittamaan ja sijoittamaan verisuonien tuoman veren kulkuaukkoja. Yläonttolaskimoa ja keuhkovaltimoa kaiverrettiin ylöspäin, jotta niihin saatiin syvyysvaikutelmaa ja oikean eteisen alaosaan tehtiin kuoppa alaonttolaskimoa varten. Vasemman puolen eteiseen tehtiin myös kuoppa aorttaa varten. Valmis poikkileikkauksen veistos on nähtävissä kuvassa 25. Sähköinen järjestelmä lisättiin veistämällä poikkileikkauksen malliin myöhemmässä vaiheessa.



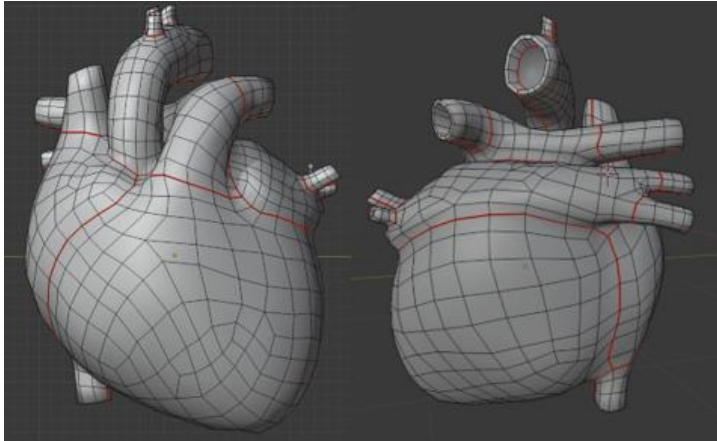
Kuva 25. Valmis poikkileikkaus vielä ilman sähköistä järjestelmää.

4.4 Retopologia ja UV

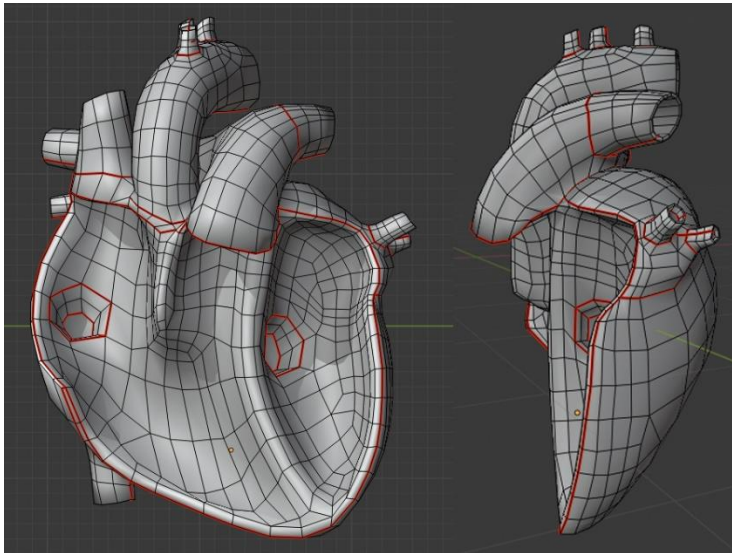
Molempien valmiiden 3D-veistosten polygonimäärät olivat erittäin suuria, joten niiden teksturointi ja animaatio olisi ollut erittäin haastavaa ja olisi vaatinut tietokoneelta hyvin suuria tehoja. Kokonaisen sydämen verteksimäärä oli 7 568 386 ja poikkileikkauksen 5 277 213. Mallit täytyi siis retopoloida uudelleen, jotta niistä saadaan keveämpiä ja monipuolisemmin käytettäviä.

Haasteita retopologiaan aiheutti isojen valtimoiden ja laskimoiden liitoskohdat ja ne täytyikin tehdä uudelleen muutaman kerran. Samanaikaisesti oli mietittävä UV-kartan toteuttamista, jotta seuraava työvaihe ei kärsisi huonosta topologiasta. Tavoitteena oli saada reunat seuraamaan virtaviivaisesti eri muotoja ja saada aikaiseksi selkeästi erottuva topologia eri osille, kuten valtimot ja laskimot. Selkeää topologiaa voi hyödyntää mallin teksturointivaiheessa, kun eriväriset osiot ovat omina alueinaan jo valmiiksi, kuten aortta on ”eristetty” omaksi alueekseen saumojen avulla. Reunasilmukoiden saaminen virtaviivaisiksi ja muotoa noudattaviksi vei aikaa pari työpäivää, mutta kokonaisen sydämen retopologiaa pystyttiin hyödyntämään poikkileikkausmallin retopologiassa, jolloin säästettiin aikaa.

Poikkileikkauksen retopologia alkoi kopioimalla kokonaisen sydämen uusi topologia ja poistamalla mallin etuseinästä polygoneja. Kun riittävä määrä polygoneja oli poistettu, voitiin alkaa noudattamaan poikkileikkauksen eteisten ja kammioden muotoa. Lopulta mallien verteksimäärät saatiin huomattavasti pienemmiksi, kokonainen 1 345 ja poikkileikkauksessa 1 755 verteksiä. Nyt mallit olivat tietokoneelle paljon kevyempiä käsitellä. Kuvasta 26 voi nähdä miten yksinkertaisempi sydämen rakenteesta saatiin retopologian avulla. Samoin kuvassa 27 on poikkileikkauksen retopologia.

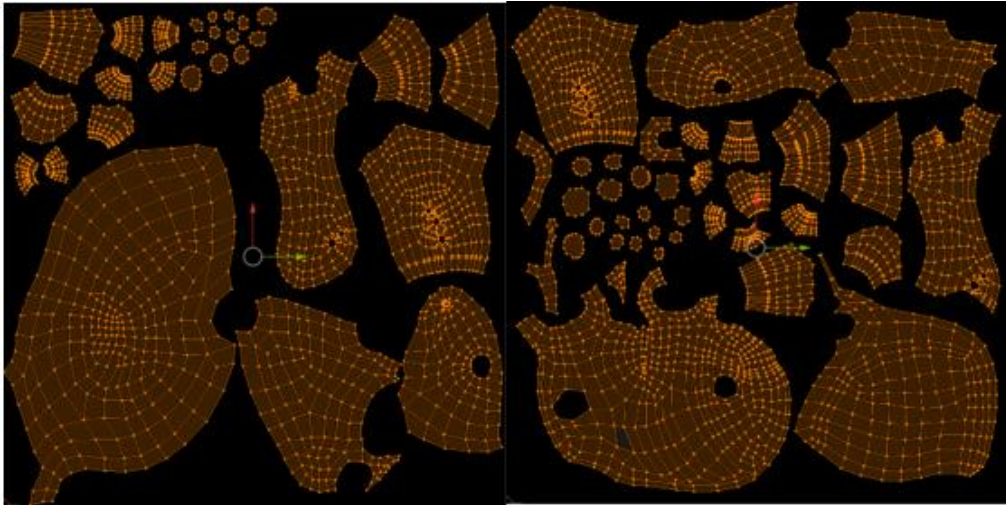


Kuva 26. Kokonainen sydän retopologian jälkeen ja punaisella UV-kartan saumat



Kuva 27. Poikkileikkaus retopologian jälkeen ja punaisella UV-kartan saumat.

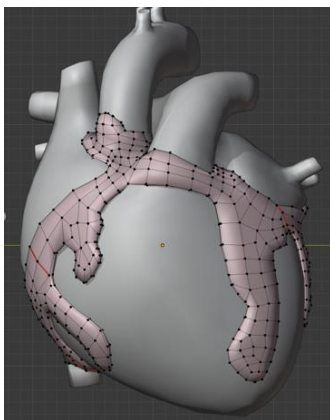
UV-kartan saumojen asettaminen ei ollut monimutkaista, sillä hyvin suunnitellun retopologian ansiota saumojen paikat löytyivät kuin luonnostaan. Kuten retopologiavaiheessa, niin myös saumojen kohdalla noudatettiin sydämen eri osia. Saumoilla erotettuja alueita pystyisi hyödyntämään teksturointivaiheessa. Kuvassa 28 on molempien mallien UV-kartat levitettyinä 2D-tilaan.



Kuva 28. Molempien mallien valmis UV-unwrappaus. Vasemmalla kokonainen ja oikealla poikkileikkaus.

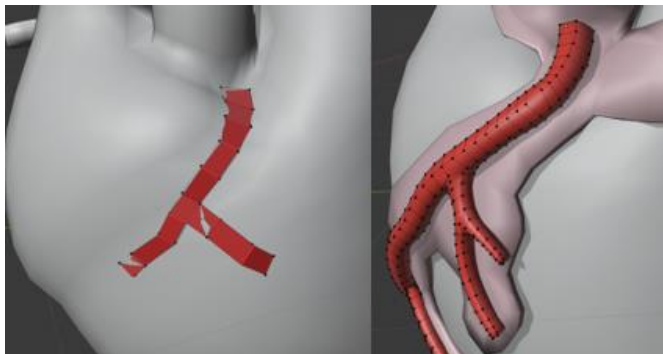
4.5 Rasvakudos, sepelvaltimot ja läpät

Malleja saatiin elävöitettyä lisäämällä niihin rasvakudosta sekä sepelvaltimot. Rasvakudos saatiin kopiaimalla osa kokonaisen sydämen topologiasta ja tekemällä siitä oma verkkorakenne, jota hie-
man manipuloimalla saatiin tyylytellyn näköinen rasvakerros sydänlihaksen päälle. Rasvakerrok-
seen saatiin lisää paksuutta käyttämällä jälleen kiinteyttävä-modifikaattoria. Viimeistelty rasva-
kerros on nähtävissä kuvassa 19.



Kuva 29. Rasvakudos sydänmallin päällä

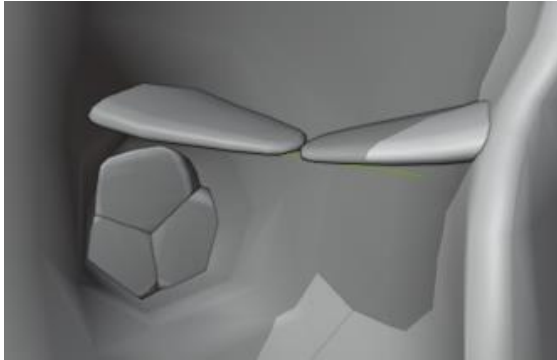
Sepelvaltimot ovat tärkeä osa sydämen anatomiaa ja ennen kaikkea sen toimintaa kuljettamalla happea sydämen eri alueille. Tämän vuoksi ne oli tärkeä saada mukaan osaksi mallia. Sepelvaltimoiden teossa hyödynnettiin retopologiatekniikkaa, jossa primitiivimuoto neliö asetettiin seuraamaan sydämen pintaa. Neliöön lisättiin pintoja ja niitä manipuloitiin siirtämällä ja kokoa muuttamalla, kunnes saatiin aikaan sepelvaltimon muoto. Kuvassa 30 on nähtävissä sepelvaltimon mallinnuksen alku- ja loppuvaihe.



Kuva 30. Oikealla kuvassa keskeneräinen sepelvaltimon mallinnus. Valmis oikea sepelvaltimo rasvakerroksen päällä, johon lisättynä kiinteyttävä-modifikaattori ja ylimääräisiä verteksejä poistettu

Sepelvaltimon muotoa saatiin pyöreämmäksi jälleen lisäämällä paksuutta kiinteyttävä-modifikaattori. Modifikaattori kuitenkin lisää verteksejä, joten jälkeen päin täytyi poistaa ylimääräisiä verteksejä, kuitenkin niin, että sepelvaltimoissa pysyy tyylitellyn pyöristetty muoto. Molemmat verkkorakenteet myös UV-unwrapattiin, jotta niiden teksturointi onnistuisi. Tämä ei kuitenkaan ollut suuri työ tehdä ja onnistui molempien osalta muutamassa minuutissa käyttämällä Blenderin automaattista UV-nwrappausta, jolloin Blender tekee itse UV-kartan ilman saumojen asettelua. Automaattisen UV-unwrappauksen käyttö ei ole kuitenkaan suositeltavaa monimutkaisten mallien kohdalla, vaan sen pääasiallinen käyttökohde on yksinkertaiset mallit.

Poikkileikkaukseen lisättiin läpät, jotka tehtiin yksinkertaisesta neliöstä lisäämällä niihin paksuutta ja muokkaamalla muotoa kolmiomaiseksi. Kuvassa 31 on nähtävissä valmiit aortta- ja mitraaliläpät. Varsinaisesti läpät ovat pyöreitä, mutta usein tyylitellyissä 2D-kuvissa käytetään kahta vastakkain olevaa läppää. Aorttaläppä kuitenkin vastaa todellisuutta, jolloin siinä on kolme aukeavaa ja sulkeutuvaa pienempää läppää.



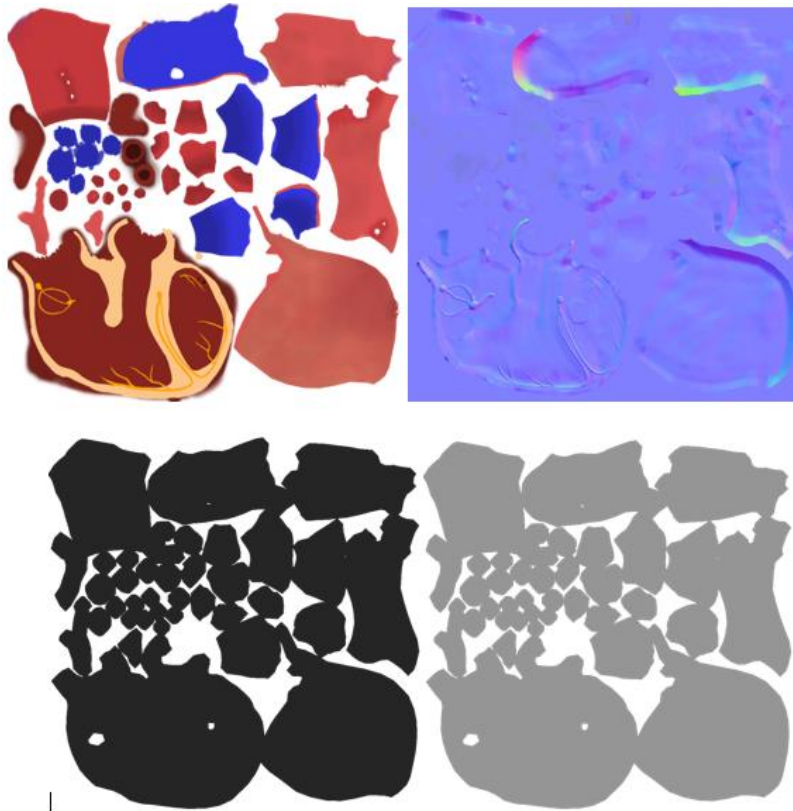
Kuva 31. Alhaalla aorttaläppä ja ylhäällä mitraaliläppä erottaen oikean eteisen ja kammion.

4.6 Teksturoidi

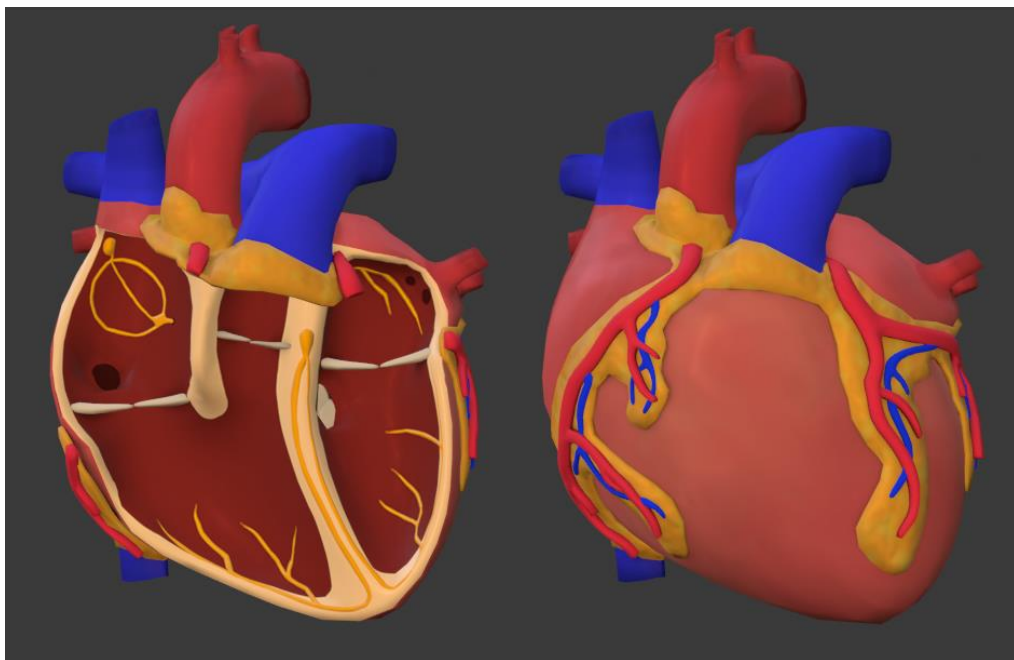
Mallien värejä oli suunniteltu jo projektin alussa ja niissä päädyttiin käyttämään perinteisiä värejä ilmentämään valtimot ja laskimot. Valtimoissa on punainen väri ilmentämään hapekasta verta ja laskimoissa sinistä väriä hiilidioksidin määrää korostamaan. Sydänlihaksessa käytettiin lohenpuunaista, jolloin sitä ei sekoiteta valtimoiden punaiseen. Poikkileikkauksen sisäosissa lihasseinämissä värinä on vaalea beige, jolloin se erottaa selkeästi vasemman ja oikean puolen toisistaan.

Keltaista väriä on usein pidetty sähköä kuvaavana värinä, joten sitä käytettiin myös nyt sähköisen järjestelmän värityksenä. Keltaisen saturaatio on korkea, jolloin se erottuu hyvin tummasta punaisesta ja vaaleasta beigestä. Läpät ovat vaalean harmaat. Värit eivät ole täysin puhtaita, vaan täysin yksiväristä pintaa rikottiin keveästi lisäämällä tummempia värialueita. Rasvakerros on perinteisen keltainen, jossa on mukana häivähdys oranssia.

Pääasiassa värit maalattiin Blenderin sisällä tekstuuri- maalaustyökalulla, mutta myöhemmin värialueita ja saturaatioita paranneltiin Photoshopissa. Photoshopin sivellin tekee tarkempaa ja siistimpää jälkeä, jota hyödynnettiin etenkin sähköisen järjestelmän ja seinien piirtämisessä, jolloin niistä saatiin tarkkarajaisia. Malleja ei haluttu tehdä liioitellun kiiltäviksi ja sileiksi, joten näitä ominaisuuksia hallitaan metalli- ja karkeuskartoilla. Arvot säädettiin ensin Blenderissä halutunlaisiksi ja niistä beikattiin omat kartat. Kuvasta 32 voi tarkastella poikkileikkaukseen tehtyjä tekstuurikarttoja. Kuvassa 33 on esitelty valmiit 3D-mallit tekstuurikarttojen kanssa.



Kuva 32. Ylävasemmalla diffuusikartta, yläoikea normaalikartta. Alavasen metallikartta ja alaoikea karkeuskartta.



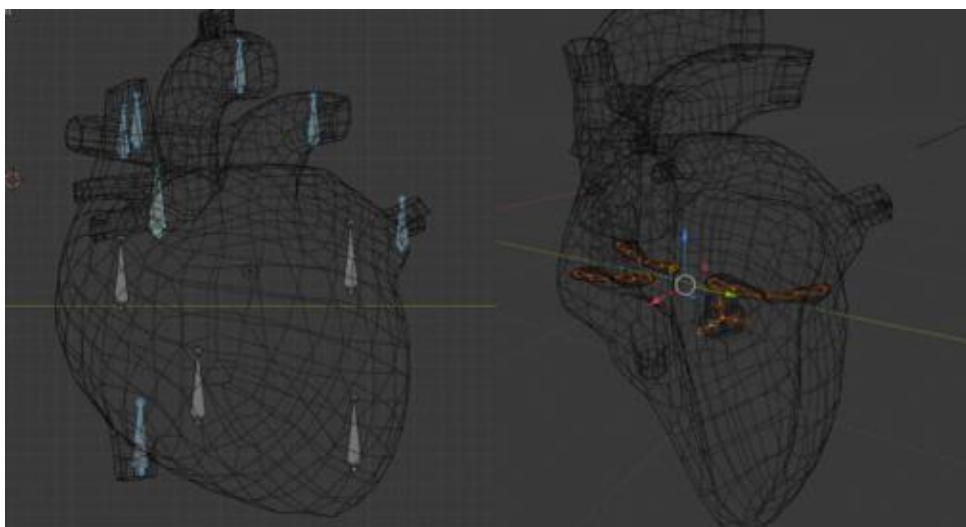
Kuva 33. Valmiit 3D-mallit tekstuurikartoilla.

5 Animaatio

5.1 Luustaminen ja painomaalaus

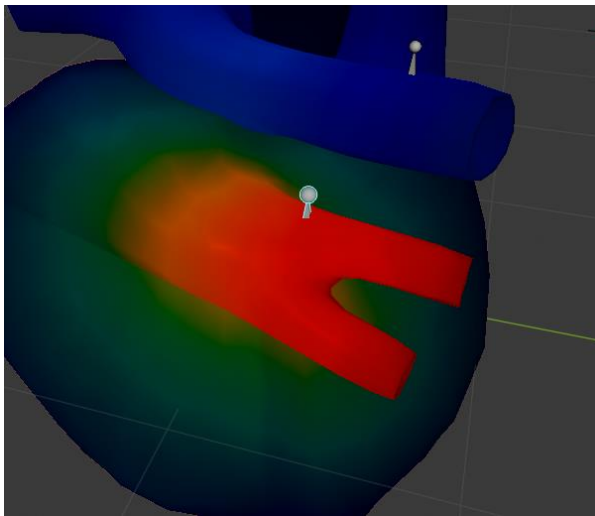
3D-mallin tärkein animaatio oli sydämen pumppaus eli sydämen mekaaninen toiminta, jonka aikana veri siirtyy valtimoita ja laskimoita pitkin eteisiin ja lopulta kammioiden kautta takaisin verenkiertoon. Mekaanisen toiminnan alussa vasen ja oikea eteinen laajenee niihin kertyvän veritilavuuden takia ja lopulta supistuu työntäen veren vasempaan ja oikeaan kammioon. Kammiot vastavuoroisesti laajenevat, ja veren siirtyessä läppien kautta verenkiertoon ne supistuvat. Normaalin sydämen toiminnan aikana eteiset ja kammiot siis vuorottelevat laajentumista ja supistumista.

Mekaanisen toiminnan animaation tekoon käytettiin apuna Blenderin keskustelufoorumilta löydyntä ohjetta (Ed Tate 2017), joka oli annettu toiselle käyttäjälle samaisessa tarkoituksessa. Kokonainen sydän animoitiin ensin, sillä sen animaatio pystyisi kopioimaan helposti poikkileikkausmalliin myöhemmin. Animaation aikana liikkumattomiin osiin, tässä tapauksessa isot verisuonet, asetettiin luut. Nämä luut toimisivat eräänlaisina ankkureina ja pitäisivät mallin paikallaan. Molempiin eteisiin ja kammioihin asetettiin yksi luu, jotka vuorottelevat supistumista ja laajentumista. Kuvassa 34 on esiteltyinä mallien luiden paikat.

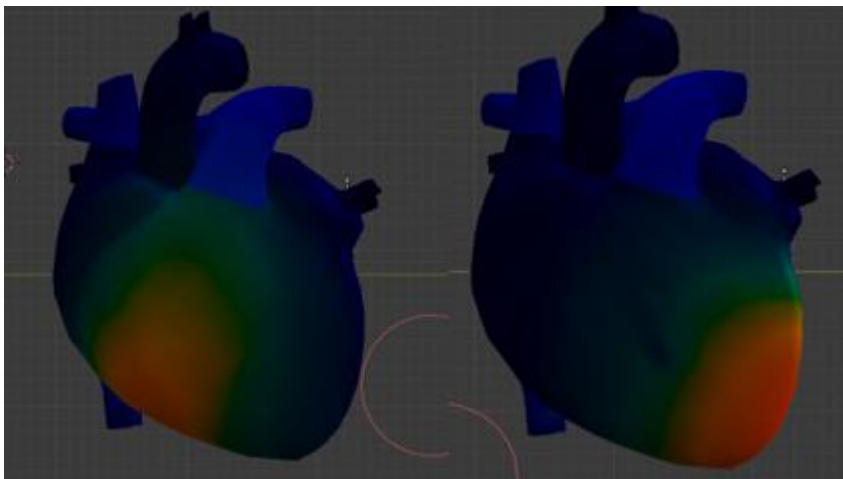


Kuva 34. Vasemmalla vaaleansinisellä korostetut ”ankkuri”-luut ja neljä animoitua luuta. Oikealla oranssilla korostetut läppien luut.

Luiden vaikutusta malliin hallittiin painomaalauksen avulla. Ankkuriluina toimivien luiden vaikutusalue maalattiin täysin punaiseksi, jolloin estettiin valtimoiden ja laskimoiden liikkuminen ja malli pysyisi paikoillaan pumppausanimaation aikana. Blender kykenee itse tekemään automaattisen painomaalauksen, joten eteisten ja kammioiden luiden vaikutus omiin alueisiinsa ei vaatinut suuria muutoksia. Kuitenkin vaikutusalueita jokaisen luun kohdalla laajennettiin hieman, mutta automaatio oli tehnyt pääasiassa hyvää työtä. Kuvista 35 ja 36 voi nähdä osan painomaalauksen vaikutusalueista.

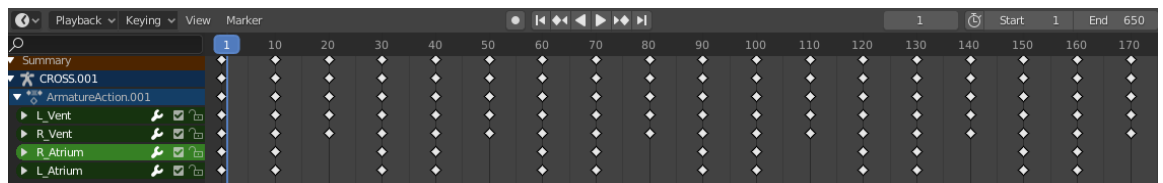


Kuva 35. Esimerkki ankkuriluun vaikutuksesta keuhkovaltimoon.



Kuva 36. Vasemmalla vasemman kammion luun vaikutusalue ja oikealla oikean kammion vaikutusalue

Läppien animaatio poikkileikkausmallissa täytyi asettaa oikeaan sykliin pumppaus-animaation kanssa. Läpät aukeavat ja sulkeutuvat sydämen eteisissä ja kammioissa vallitsevan paineen vaihtelun vuoksi. Kun eteisten paine kasvaa riittävän suureksi, trikuspidaali- ja mitraaliläppä aukeavat ja veri kulkeutuu eteisistä kammioihin. Paineen laskiessa läpät menevät jälleen kiinni. Aortta- ja keuhkovaltimoläpät aukeavat, kun kammioiden paine kasvaa ja veri siirtyy niiden kautta verenkiertoon. Yhden syklin mitta on 30 framea eli hieman yli yhden sekunnin. Sykli kopioitiin, ja lopullinen animaation mitta on 650 framea. Kuvassa 37 on pumppausanimaation aikajana, jossa jokainen valkoinen merkki tarkoittaa muuttuvaa muotoa, kuten tässä tapauksessa sydämen supistumista tai laajentumista.



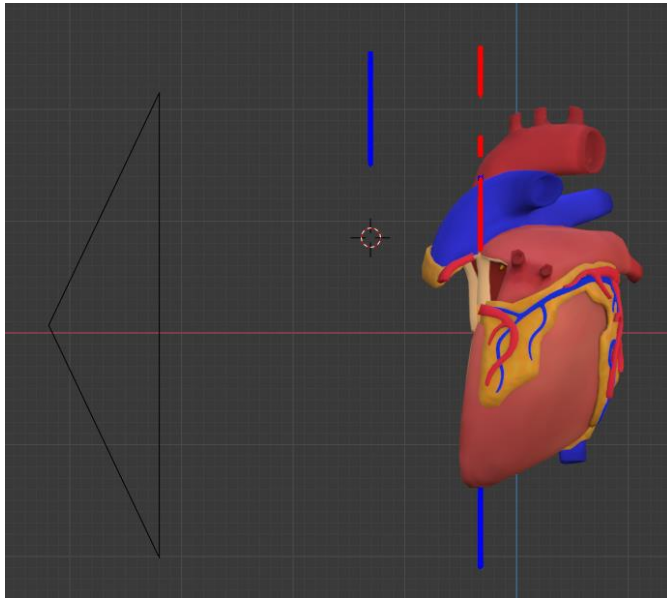
Kuva 37. Itseään toistava pumppausanimaatio aikajanalla, joka alkaa framesta 0 ja päättyy frameen 650.

5.2 2D-animaatio 3D-malliin

Projektin haastavimpana osuutena oli tarkoitus tehdä hiukkasefekteillä toteutettu sähköimpulssin kierto ja verenkulku poikkileikkausmalliin. Hiukkasefektillä tarkoitetaan suurta määrää tietokoneen luomia kappaleita, joilla voidaan mallintaa esimerkiksi sadetta tai pölyä. Hiukkasefektillä voidaan luoda myös eläimen karva tai ihmisen hiukset.

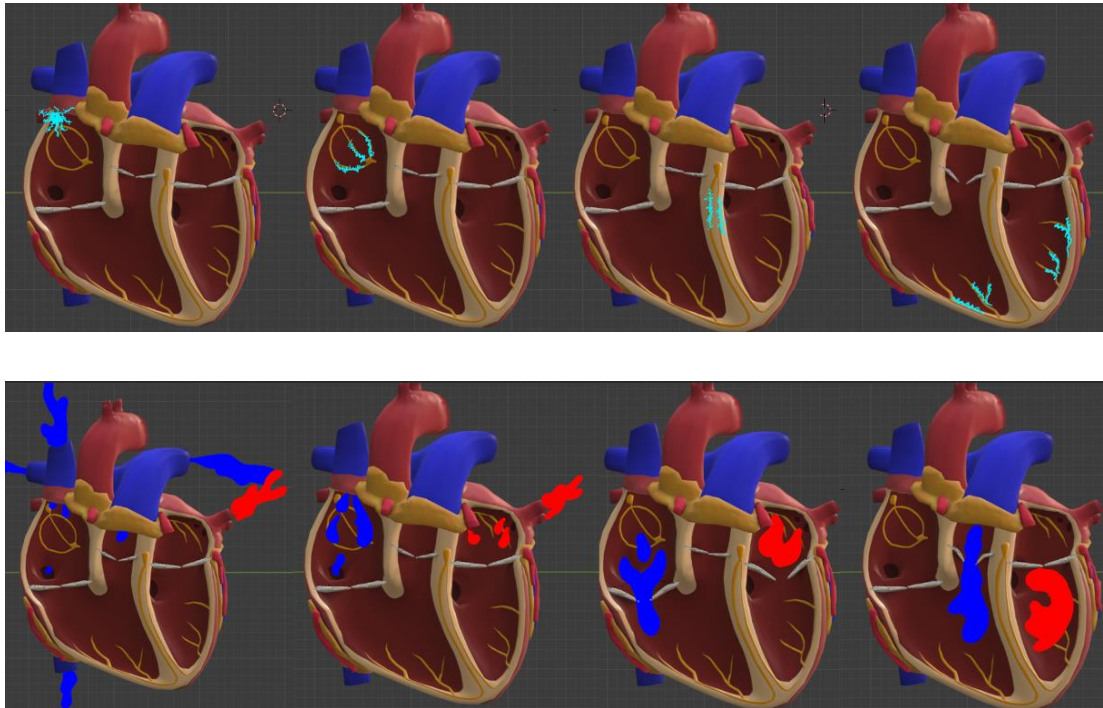
Hiukkasefekteistä kuitenkin luovuttiin, sillä Blender mahdollistaa yhdistämään 2D-animaation 3D-tiloihin. 2D-animaatio sähkölle ja verelle luotiin 2D-animaatiotilassa niin sanotulla grease pencil-työkalulla. Grease pencilillä piirrettyjä muotoja voi muokata myöhemmin, suurentaa, kierittää tai muokata niiden muotoja, sillä ne muodostuvat samalla tavoin vertekseistä kuin 3D-mallitkin.

Animaatiot tehtiin frame-by-frame-tekniikalla, jolloin poikkileikkausmalli oli omalla tasollaan taakempana ja grease pencilillä tehdyt piirrot omalla tasollaan. Aluksi animoitiin yksi sykli, joka kopioitiin ja näin saatiin itseään toistava 2D-animaatio, joka toistaa itseään 3D-animaation päällä. Kuvassa 38 on sivunäkymä kameran, grease pencil-animaation ja poikkileikkausmallin asettelusta.



Kuva 38. Vasemmalla oleva mustareunainen kolmio on kamera, joka kuvaa ortografisesti poikkileikkausta suoraan edestä ja näin välissä sinisellä ja punaisella sydämen läpi kulkeva veri.

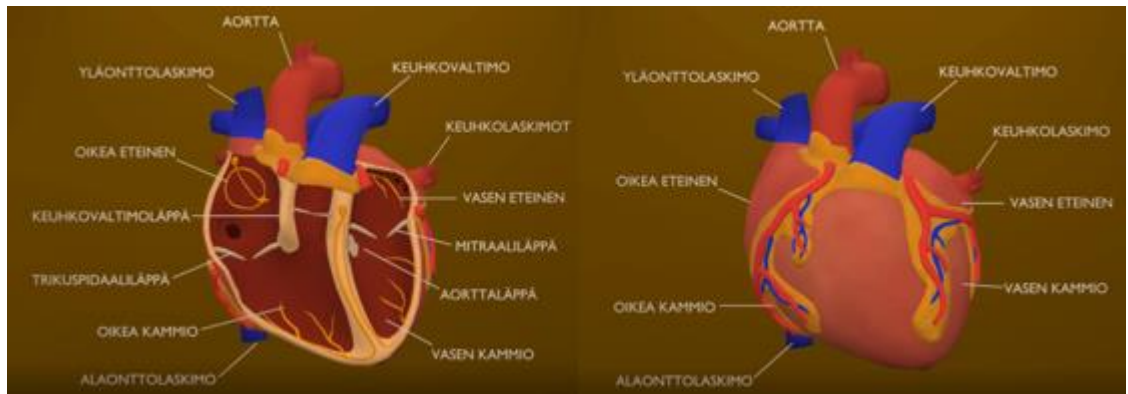
Kuvassa 39 on esitelty kuvankaappauksia grease pencil -työkalulla tehdyistä 2D-animaatioista. Sähköimpulssin väriksi valikoitui mahdollisimman hyvin poikkileikkauksen mallia vasten erottuva vaalean sininen. Sähköä usein ajatellaan olevan vaalean sininen, joten se sopi myös käytettäväksi tässä tilanteessa. Verin väriä käytetään pääsääntöisesti punaista, kuten se myös on todellisuudessa, mutta myös sinistä. Punaisella värillä visualisoidaan hapekasta verta, joka kulkeutuu keuhkoista sydämen kautta muualle elimistöön. Sininen väri kuvastaa ei-hapekasta verta, jolloin voidaan paremmin visualisoida laskimo- ja valtimoveren eroavaisuudet.



Kuva 39. Kuvakaappaukset sähköisen impulssin ja verenkierron 2D-animaatioista

5.3 Lopputuotokset

Tilaaja saa käyttöönsä molemmat 3D-mallit, joita käyttäjä voi tarkastella Microsoftin omalla 3D Viewer -ohjelmistolla, joka on vakiona kaikissa Windows 10 -käyttöjärjestelmissä. Tämän ansiosta tilaajan ei tarvitse asentaa ylimääräisiä ohjelmistoja ja 3D-mallit ovat heti käyttövalmiita. Valitettavasti kuitenkin 3D Viewer ei kykene toistamaan tehtyjä animaatioita, joten animaatiot renderoitiin omiksi animaatiovideoiksi. Kaiken kaikkiaan videoita tehtiin neljä ja videoiden yhteyteen Blenderissä lisättiin tekstiselitteet sydämen anatomisesta rakenteesta, kuten kuvassa 40 ja 41 voi nähdä.



Kuva 40. Kuvankaappaukset kahdesta animaatiosta. Vasemmalla poikkileikkaus ja oikealla kokonainen sydän.



Kuva 41. Kuvankaappaukset sähköisen impulssin etenemisanimaatiosta ja oikealla verenkierron animaatiosta

Jokainen video editoitiin OpenShot Video Editor -videoiden käsittelyohjelmistolla. Jokaisen videon alkuun lisättiin yksinkertainen seliteotsikko videon sisällöstä ja videoiden mitaksi editoitiin 25 sekuntia. Tämän katsottiin olevan riittävä aika käyttäjälle videon katsomiseen kerran. Videoiden sisältö on samanlainen koko toiston ajan, joten käyttäjä voi katsoa videon kerran tai useammin ja tarvittaessa pysäyttää toisto tarkempaa tarkastelua varten. Tuotteet luovutettiin yhtenäisenä tiedostokansiona internetin välityksellä tilaajalle, ja ne ovat tilaajan vapaassa käytössä.

6 Yhteenveto

Opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia, miten luodaan oikeellista ja ymmärrettävää opetusmateriaalia terveydenhuoltoalan käyttöön. Työskentelyn aikana tavoitteena oli selkeyttää omaa työkulkua ja lisätä tietotaitoa 3D-mallien eri työvaiheista, jolloin niitä voidaan hyödyntää tulevaisuudessa. Projektin teoreettinen osuus keskittyi lääketieteellisen kuvittamisen kehitysvaiheisiin ja 3D mallinnuksen eri osa-alueisiin. Käytännön vaihe esitteli projektin aikana käytetyt työmenetelmät. Oppimistavoitteet saavutettiin suurilta osin: oman työkulun kriittinen tarkastelu ja kehittäminen sekä eri työvaiheisiin tarkempi tutustuminen. Suurimpana hyötynä projektissa korostui animaatiovaihe, joka opetti huomattavasti uusia asioita.

Aivan alkuperäisen suunnitelman mukaan tarkoitus oli tehdä tuotteesta interaktiivinen. Interaktiivisuus lisää materiaalin mielenkiintoa, mutta projektin aikainen tietotaito ei riittänyt toteuttamaan suunnitelmaa. Suunnitelmissa oli hyödyntää pelimoottoria, kuten Unityä. Käyttäjä olisi voinut hiirenpainalluksella valita sydämen sepelvaltimoista kohdan ja tarkastella animaation avulla, mikäli valitussa kohtaa olisi tukos ja sen vaikutusalueetta sydänlihaksessa. Digitaalisen veistämisestä aikana tehdyn tutkimuksen perusteella kävi ilmi, että interaktiivisuuden ohjelmoiminen olisi liian haasteellista ja pitkittäisi projektin pituutta. Takaiskusta huolimatta varsinaiseen lopputavoitteeseen päästiin, eli 3D-mallinnettu ja animoitu ihmisen sydän.

Valitettavasti tilaaja ei ole ennättänyt antamaan tuotteeseen palautetta kevään 2020 SARS-CoV-2-virustilanteen ja kesälomien vuoksi ennen loppuraportin kirjoittamista. Tuote jää kuitenkin tilaajan vapaaseen käyttöön. Tilaajan kanssa on sovittu, että tuotteen tekijä voi esitellä tuotetta portfolioissaan ja jatkaa kehitystyötä. Jatkokehitys on mahdollista samoilla malleilla ja animoida niihin eri rytmihäiriöiden vaikutuksen sekä sydäninfarktien vaikutukset pumppaustoimintaan. Interaktiivisuuden lisääminen voi olla yhä haastavaa tämänhetkellä tiedotaidolla, mutta olisi hyödyllinen suunta jatkaa tuotteen kehitystä.

Opinnäytetyön eteneminen tapahtui hitaammin kuin oli suunniteltu, mutta työ valmistui kuitenkin ennen vuoden 2020 loppua. Mallintamisen ja animaation eri vaiheet opettivat paljon uusia tietoja ja taitoja. Eritoten animaatio opetti uusia käytänteitä ja asioita, joita tulisi ottaa huomioon, kuten painomaalaus.

Suomalaista dokumentaatiota lääketieteellisestä kuvittamisesta ei löydy, joten toivon mukaan tämä raportti avustaa muita samoista asioista kiinnostuneita. Toivottavasti työn tuloksia voidaan hyödyntää tulevaisuudessa opetuksellisesti. Projektin työvaiheet ovat kuitenkin yksilöllisiä ja voivat poiketa muiden tavoista, mutta voivat olla hyvänä pohjana aloitteleville 3D-mallintajille.

Lähteet

Association of Medical Illustrators. (2020) Careers. Haettu 09.06.2020, sivustolta Association of Medical Illustrators, internetosoite: <https://ami.org/medical-illustration/enter-the-profession/careers>

Association of Medical Illustrators. (2020) History of Medical Illustration. Haettu 09.06.2020, sivustolta Association of Medical Illustrators, internetosoite: <https://ami.org/professional-resources/advocacy/legal-news/27-main/medical-illustration/49-history-of-medical-illustration>

Blender (2020) Introduction. Haettu 28.06.2020, sivustolta Blender Manual, internetosoite: <https://docs.blender.org/manual/en/latest/modeling/modifiers/introduction.html>

Blender (2020) Introduction. Haettu 13.06.2020, sivustolta Blender Manual, internetosoite: https://docs.blender.org/manual/en/latest/sculpt_paint/weight_paint/introduction.html

Blender (2020) Render Baking. Haettu 11.06.2020, sivustolta Blender Manual, internetosoite: http://builder.openhmd.net/blender-hmd-viewport-temp/render/blender_render/bake.html

Britannica. (2020) Anatomical studies and drawings. Haettu 11.06.2020, sivustolta Britannica, internetosoite: <https://www.britannica.com/biography/Leonardo-da-Vinci/Anatomical-studies-and-drawings>

Britannica. (2020) Herophilus – Alexandrian physician. Haettu 10.06.2020, sivustolta Britannica, internetosoite: <https://www.britannica.com/biography/Herophilus>

Denham, T. (2020) What is UV Mapping & Unwrapping. Haettu 06.05.2020, sivustolta Concept Art Empire, internetosoite: <https://conceptartempire.com/uv-mapping-unwrapping/>

Gaget, L. (2019, 12. kesäkuuta) All you need to know about digital sculpting. Haettu 05.05.2020, sivustolta sculpteo, internetosoite: <https://www.sculpteo.com/blog/2019/06/12/what-is-digital-sculpting/>

Heginbotham, C. (2020) What is 3D Digital Sculpting? Haettu 05.05.2020, sivustolta Concept Art Empire, internetsivusto: <https://conceptartempire.com/what-is-3d-sculpting/>

Lerner, B. (2013, 17. syyskuu) Frank Netter, MD: The Michelangelo of Medicine. Haettu 11.06.2020, sivustolta The Atlantic, internetosoite: <https://www.theatlantic.com/health/archive/2013/09/frank-netter-md-the-michelangelo-of-medicine/279701/>

Liu, T. (2018) Tara – Sculpting. Haettu 15.07.2020, sivustolta ArtStation, internetosoite: <https://www.artstation.com/artwork/L2aa5K>

Martin, J. (2016, 20. huhtikuu) How to retopologize 3D scans into low poly game assets. Haettu 27.06.2020, sivustolta Sketchfab, internetosoite: <https://sketchfab.com/blogs/community/retopologise-3d-scans-low-poly-game-assets/#:~:text=be%20used%20on%203d%20scans%20for%20rapid%20asset%20creation.%20Learning>

Nimimerkki Dustinmaertz (2014, elokuva) Dustin's Lowpoly Improvement Tread. Haettu 11.06.2020, sivustolta Polycount Wiki, internetosoite: https://polycount.com/discussion/comment/2116514#Comment_2116514

Nimimerkki Rumpelstiltskin (2020) Torso With Arms 1. Haettu 14.07.2020, sivustolta Sketchfab, internetosoite: <https://sketchfab.com/3d-models/torso-with-arms-1-e567b87035ea4e299f8b0ec2c3d313d1>

Nimimerkki Frankiezafe (2020, 15. tammikuu) Retopology (manual and automated). Haettu 26.08.2020, sivustolta polymorph, internetosoite: <https://polymorph.cool/2020/01/15/retopology-manual-and-automated/>

Nimimerkki Onirica visual studio (2014, 1. lokakuu) Timelapse making of – Retopology in Topgun. Haettu 26.08.2020, sivustolta Youtube, internetosoite: <https://www.youtube.com/watch?v=u1YOPz3Kf9U>

Nimimerkki Ed Tate (2017, 9. tammikuu) How to animate a beating heart?. Haettu 03.03.2020, sivustolta Blender, internetosoite: <https://blender.stackexchange.com/questions/70151/how-to-animate-a-beating-heart>

Nutton, V. (1998, 20. heinäkuuta) Galen – Greek physician. Haettu 11.06.2020, sivustolta Britannica, internetosoite: <https://www.britannica.com/biography/Galen>

Paschalis, M. (2015) [Animation] Human Heart. Haettu 12.06.2020, sivustolta Sketchfab, internetosoite: <https://sketchfab.com/3d-models/animation-human-heart-775d6629622740de8a5ed61a959c7506>

Park, K. (2020) About De Humani Corpis Fabrica – Commentary by Katharine Park. Haettu 28.06.2020, sivustolta Anatomia Italiana, internetosoite: https://anatomiaitaliana.com/wp-content/uploads/2013/05/About_Fabrica_Web2.pdf

Petaykin, M. (2020) Chest armor (Fallout 4 mod). Haettu 02.07.2020, sivustolta Artstation, internetosoite: <https://mickeyvpn.artstation.com/projects/qXLYL>

Petty, J. (2020) What is 3D Modeling & What's It Used For? Haettu 04.05.2020, sivustolta Concept Art Empire, internetosoite: <https://conceptartempire.com/what-is-3d-modeling/>

Petty, J. (2020) What is 3D Rigging For Animation & Character Design. Haettu 13.06.2020, sivustolta Concept Art Empire, internetosoite: <https://conceptartempire.com/what-is-rigging/>

Petty, J. (2020) What is Retopology? (A Complete Intro Guide For Beginners). Haettu 06.05.2020, sivustolta Concept Art Empire, internetosoite: <https://conceptartempire.com/retopology/>

Pluralsight (2014, 20. tammikuu) 5 Tips for Character Rigging. Haettu 13.07.2020, sivustolta Pluralsight, internetosoite: <https://www.pluralsight.com/blog/film-games/5-tips-character-rigging>

Polycount wiki (2020) Texturing. Haettu 11.06.2020, sivustolta Polycount wiki, internetosoite: <http://wiki.polycount.com/wiki/Texturing>

Polycount wiki (2020) Texture Baking. Haettu 11.06.2020, sivustolta Polycount Wiki, internetosoite: http://wiki.polycount.com/wiki/Texture_Baking

Polycount wiki (2020) Topology. Haettu 27.06.2020, sivustolta Polycount wiki, internetosoite: <http://wiki.polycount.com/wiki/Topology>

Slick, J. (2020, 21. tammikuuta) 3D Model Components – Vertices, Edges, Polygons & More – Anatomy of 3D model. Haettu 04.05.2020, sivustolta Lifewire, internetosoite: <https://www.lifewire.com/3d-model-components-1952>

Treehouse (2015, 8. joulukuu) Understanding Normal Maps. Haettu 11.06.2020, sivustolta Team Tree House, internetosoite: <https://blog.teamtreehouse.com/understanding-normal-maps>

Tsafrir, J. & Ohry, A. (2018) Medical illustration: from caves to cyberspace. Haettu 10.06.2020, sivustolta Wiley Online Library, internetosoite: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1046/j.1471-1842.2001.d01-16.x>
