



Sanna Sipponen

Animaatiota tukevan 3D-mallin rakentaminen sarjakäyttöä varten

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Medianomi

Viestinnän tutkinto-ohjelma

Opinnäytetyö

Päivämäärä 22.5.2023

Tiivistelmä

Tekijä(t):	Sanna Sipponen
Otsikko:	Animaatiota tukevan 3D-mallin rakentaminen sarjakäyttöä varten
Sivumäärä:	41 sivua
Aika:	28.8.2023
Tutkinto:	Medianomi (AMK)
Tutkinto-ohjelma:	Viestinnän tutkinto-ohjelma
Suuntautumisvaihtoehto:	3D-animaatio ja -visualisointi
Ohjaaja(t):	Lehtori Jaro Lehtonen

Opinnäytetyössä käsitellään animointivalmiiden 3D-mallien toteutusta tavoitteena saada niistä mahdollisimman monikäyttöisiä ja pitkäikäisiä. Teoriaosuudessa käydään läpi, miten ja millä tavalla eri tahot käyttävät 3D-elementtejä uudelleen, ottaen huomioon myös uudelleenikäytön mahdollisia ongelmia ja sen rajoja.

Teoriaosuudessa käydään myös läpi animaatiokelpoisuuteen vaikuttavia 3D-asioita, topologiaa ja riggausta. Lisäksi perehdytään hieman yleisesti pilvipalveluiden kansiorakenteisiin ja 3D-tiedostojen jakamiseen tiimin sisällä.

Opinnäytetyön lopussa olevassa käytännön työssä käydään läpi aikaisemmin toteutetun 3D-hahmon tekoprojekti mallinnuksen, topologian, riggauksen ja kansiorakenteen kannalta.

Avainsanat: 3D, riggaus, 3D-animaatio, topologia

Abstract

Author(s): Sanna Sipponen
Title: Building An Animation-ready 3D Model For Serial Use
Number of Pages: 41 pages
Date: 28 August 2023

Degree: Bachelor of Culture and Arts
Degree Programme: Media
Specialisation option: 3D Animation and Visualization
Instructor(s): Jaro Lehtonen, Senior Lecturer

\

The thesis presents the implementation of animation-ready 3D models. The aim is to make them as versatile and long-lasting as possible. The theory part examines how and in what way different parties reuse 3D elements, including the possible problems of reuse and its limits.

The theory part also covers 3D issues that affect animation suitability, such as topology and rigging. In addition, the concepts of managing the folder structures of cloud services and the sharing of 3D files within a team are introduced.

In the practical work at the end of the thesis, I go through the modelling, topology, rigging and folder structure of the 3D model making project I completed.

Keywords: 3D, Rigging, 3D Animation, Topology

Sisällys

1 Johdanto	1
2 3D-ominaisuuksien käyttö sarjatuotannossa	2
2.1 Uudelleenkäyttö mainosmediassa	3
2.2 Uudelleenkäytön rajat	4
3 3D-mallien yleisiä ominaisuuksia	5
3.1 Animoitavan 3D-mallin toteutus	6
3.2 Topologia	9
3.3 Edgeflow	10
3.4 UV-mapping	13
4 Riggaus	15
4.1 Rigin ennakkovalmistelut	16
4.2 Yleisiä riggaustekniikoita	18
4.3 Skinnaus	23
5 Kansiorakenne	24
6 3D-leijonan toteuttaminen	26
6.1 Veistosprosessi	27
6.2 Topologia	29
6.3 Riggaus	31
6.4 Dokumentaatio ja kansiorakenne	34
6.5 Kohdatut ongelmat	35
7 Johtopäätökset	36
Lähteet	38

1 Johdanto

Opinnäytetyön aiheena on tutkia laadukkaan animaatiokelpoisen 3D-mallin suunnittelua ja vaatimuksia. Opinnäytetyön aihe syntyi työharjoitteluni pohjalta. Työharjoittelussa toteutin animoidun 3D-version projektin tilanneen yrityksen leijonamaskotista. Animaation tarkoituksena oli esiintyä yrityksen nettisivuilla ja tukea brändin imagoa, mutta tärkein vaatimus oli 3D-maskotin uudelleenkäytettävyys tulevissakin markkinointimateriaaleissa. Tavoitteena oli siis luoda 3D-malli, jota pystyisi hyödyntämään uudestaan mahdollisimman monta kertaa.

Projektia tehdessäni minun tuli paneutua seuraaviin kysymyksiin: kun 3D-malli on pienemmän yrityksen käytössä, miten saada siitä kaikki irti, jos yrityksellä ei ole pysyvää artistia tai markkinointitiimiä? Mitä vaatimuksia 3D-mallin liikkuvuudella on, kun se tulee olemaan mukana useammassa projektissa? Miten projektin jaetusta kansiorakenteesta saa tarvittavan ymmärrettävän ja helppokäyttöisen? Työharjoitteluni pohjalta syntynyt hahmo siirtyy seuraavan animaattorin käsiin, eikä hänellä ole mahdollisesti resursseja paneutua käyttöliittymään eikä tiedostojen jäsentelyyn, joten laaja pohjatyö oli tarpeen 3D-mallin suunnittelussa ja toteutuksessa.

Opinnäytetyössä en käsittele 3D-mallin visuaalista konseptisuunnittelua (ulkonäkö) vaan keskityn enemmän teknisiin ominaisuuksiin, jotka tekevät mallista laadukkaan, kuten polygoniverkkoon (topologiaan) ja animaatiojärjestelmän rakentamiseen (riggaukseen). Lisäksi käyn läpi työprosessin dokumentointia sekä tiedostojen järjestelyä ymmärrettävään muotoon.

2 3D-ominaisuuksien käyttö sarjatuotannossa

3D-grafiikka yleistyy mediassa yhä enemmän, vaikka 3D-mallien ja -animaation toteutus alusta alkaen on suuri ja aikaa vievä prosessi. Siksi jo aiemmin rakennettujen 3D-ominaisuuksien, kuten mallien, animaation tai 3D-mallin teknisen animaatiojärjestelmän (rigin), uudelleen käyttäminen on suositeltavaa, etenkin pelien kehitysprojekteissa, jotka kasvavat jatkuvasti suuremmiksi ja suuremmiksi. Pelien ulkonäkö muuttuu vuosi vuodelta paremmaksi järjestelmät käyvät yhä monimutkaisemmiksi. 3D-mallien kierrättämistä projektista toiseen katsotaan joskus pelaajien piirissä halveksuen, mutta totuus on, että on entistä vaikeampaa tehdä pelejä edullisella ja kehittäjille terveellisellä tavalla ilman jonkinlaista 3D-mallien uudelleenkäyttöä. Uudelleenkäytön perusteena ovatkin usein aika-, budjetti- tai tekniset rajoitteet. (Zwiezen 2019.)



Kuva 1. Esimerkki saman päämallin sarjakäytöstä. Vasemmalla hahmo vuoden 2017 Battlefront-pelistä. Oikeanpuoleinen hahmo taas esiintyy Battlefield 2024 -pelissä. (Cross 2022)

Teknisten rajoitusten takia pelin suorituskyky voi kärsiä suuresta assettien määrästä, joten uudelleenkäyttö järkevillä tavoilla voi säästää myös tilaa. Pelien kehittäjät käyttävät jatkuvasti uusia luovia tapoja hahmojen tai esineiden

uudelleenkäyttöön. Joskus on jopa vaikeampaa keksiä täysin uusi käyttötapa olemassaolevalle 3D-mallille kuin rakentaa jotain täysin uutta (Zwiezen 2019).

Projektin kehitysajan kuluttaminen uusien assettien tai animaation luomiseen ei ole aina kannattavaa, ja aika kannattaakin käyttää tärkeämpiinkin asioihin. Esimerkiksi uuden oven avaus -animaation luominen jokaiseen uuteen projektiin voi käydä turhaksi, sillä pelaajat tuskin kiinnittävät paljon huomiota näin triviaaliin ominaisuuteen. (Cross 2022.)

2.1 Uudelleenkäyttö mainosmediassa

Pelien kehityksellä on omat yksilölliset haasteensa, joten muualla mediassa uudelleenkäyttöön voi löytyä omat merkityksensä. Aina kyse ei ole pelkästään ajankäytön tehokkuuden lisäämisestä tai budjetin leikkauksesta, vaan uudelleenkäytöllä on myös muitakin hyötyjä, esimerkiksi visuaalisen yhteneväisyyden takaaminen. 3D-pelit ja -elokuvat ovat laajoja projekteja, jotka tarjoavat viihdykettä yleensä useiden tuntien ajaksi. Uuden pelin tai elokuvan kehitys voi viedä vuosia, kun taas mainoskampanjat yleensä tuottavat materiaalia, joka on pituudeltaan lyhyempää, ja pystyvät siten julkaisemaan sitä nopeammin ja tiheämpään tahtiin. Uuden kuvan tuottaminen nettisivuille tai sosiaaliseen mediaan käy helposti ja nopeasti, jos on jo olemassa kirjasto käytettävistä 3D-malleista. Samojen 3D-mallien tai mallien meshien osasten (kitbashing) käyttö takaa myös visuaalisen yhteneväisyyden eri mainosmateriaalien välillä.

Vaikka 3D-mallin tuottaminen alusta lähtien voi olla aikaa vievää, se voi olla kuitenkin mainonnassa usein kustannustehokkaampaa. Perinteisissä mainoskampanjoissa esimerkiksi tuotekuvan saamiseksi täytyy käydä läpi useita vaiheita valokuvausten järjestämisestä tuotteen prototyypin valmistamiseen. 3D-teknologia on taas mahdollistanut tekemään tuotekuvaan muutoksia vain muutamalla klikkauksella (Pixready 2021).

Mainos- ja markkinointitarkoituksiin 3D-grafiikkaa voidaan käyttää realististen tuotekuvien tai -simulaatioiden luomiseen. 3D-malleilla tuotetut tuotekuvat voivat olla hyvä menetelmä auttamaan asiakkaita ymmärtämään, miltä tuote todellisuudessa näyttää. Simulaatiot, animaatiot tai lyhytelokuvat tuotteesta taas voivat esittää tuotetta liikkeessä ja simuloida sen toimintatapoja (C&I studios 2021).

Kuitenkaan 3D-grafiikan tuottamiseen erikoistumattomilla yrityksillä on harvemmin resursseja panostaa 3D-visualisointiin tai markkinointiin yhtä paljon kuin esimerkiksi peliyrityksillä. Yleistä näille yrityksille on mainosmateriaalin tuottamisen ulkoistaminen ulkopuolisille yrityksille. Siksi tiuhaan käytettävän 3D-materiaalin uudelleenkäytön tulisi olla helppoa, etenkin teknistä tietoa vaativan riggauksen ja hahmoanimaation suhteen.

2.2 Uudelleenkäytön rajat

Uudelleenkäyttöä tapahtuu siis laajasti tehokkuuden lisäämiseksi erilaisissa medioissa. 3D-grafiikka on kuitenkin nopeasti kehittyvä taiteenala, eikä aiemmin rakennettuja 3D-malleja voida käyttää uudelleen loputtomiin, etenkin jos ne ovat näkyvässä roolissa. Etenkin pelien päähenkilöiltä yleensä odotetaan jonkinlaista ulkonäön parannusta uusien projektien myötä. Hahmojen uudelleenkäyttö voi joskus herättää pelaajakunnassa vahvojakin negatiivisia tunteita (Cross 2022). Pelien kentät tai mainoksissa kuvatut ympäristöt saattavat muuttua projektien välillä dramaattisestikin, joten hahmoilta vaaditaan vähintäänkin maailmaansa sopivia uusia vaatteita tai varusteita, mikä tarkoittaa myös muutoksia tehtyyn malliin tai jopa sen korvaamista uudella.

Uusien projektien myötä 3D-mallin liikkuvuuden vaatimuksetkin saattavat muuttua. Hyvin rakennetun animaatiojärjestelmän tavoitteena on helppo muokattavuus, mutta joskus on nopeampaa rakentaa riittämätön rigialusta uudelleen paremmilla työkaluilla, etenkin jos se on vaikeaselkoinen eikä alkuperäinen tekijä ole tavoitettavissa.



Kuva 2. Lara Croft -hahmon 3D-mallin ulkonäössä tapahtuneet muutokset vuosien 1996–2013 välillä. (Browne 2014).

3 3D-mallien yleisiä ominaisuuksia

3D-malleilla tarkoitetaan mitä tahansa matemaattista ja kolmiulotteista representaatiota todellisesta tai kuvitteellisesta kohteesta 3D-ohjelmistoympäristössä. Toisin kuin 2D-kuvaa, 3D-malleja voidaan tarkastella niihin erikoistuneissa ohjelmistokokonaisuuksissa mistä tahansa kulmasta, jossa niitä voi skaalata, pyörittää tai vapaasti muokata. (Slick 2020.)

3D-animaatiotuotannossa yleensä kaikki lavasteet ja hahmot koostuvat 3D-malleista. Tuotanto alkaa mallintamisesta. Tämä johtuu siitä, että hahmot ja ympäristöt on saatava valmiiksi, ennen kuin niille voi rakentaa animaatiojärjestelmän, eli rigin, ja animoida. (Dream Farm Studios n.d. b)

Kehittyvä tekniikka mahdollistaa 3D-mallien toteutuksen uusilla menetelmillä, esimerkiksi photoskannausta käyttäen, mutta rajauksen takia keskityn perinteisempään ja yleisempään tapaan luoda 3D-malleja mallintamalla ja veistämällä käyden läpi huomioita siitä, miten staattisesta veistoksesta saadaan aikaan toimiva animoitava 3D-malli.

Totuus on, että monet mediassa näkemistämme animoiduista ja liikkuvista 3D-malleista olivat aikoinaan 3D-veistoksia, jotka lopulta rigattiin ja pantiin liikkeelle (3D ace 2021).

3.1 Animoitavan 3D-mallin toteutus

Animoitava 3D-malli vaatii yleensä liikkuaakseen jonkinlaisen rigin. 3D-hahmon toteutukseen voi käyttää useita eri ohjelmia, mutta tässä osuudessa keskityn erityisesti Autodesk Mayan ominaisuuksiin. Peruseriaatteet ovat ohjelmien läpi yleensä samankaltaiset.

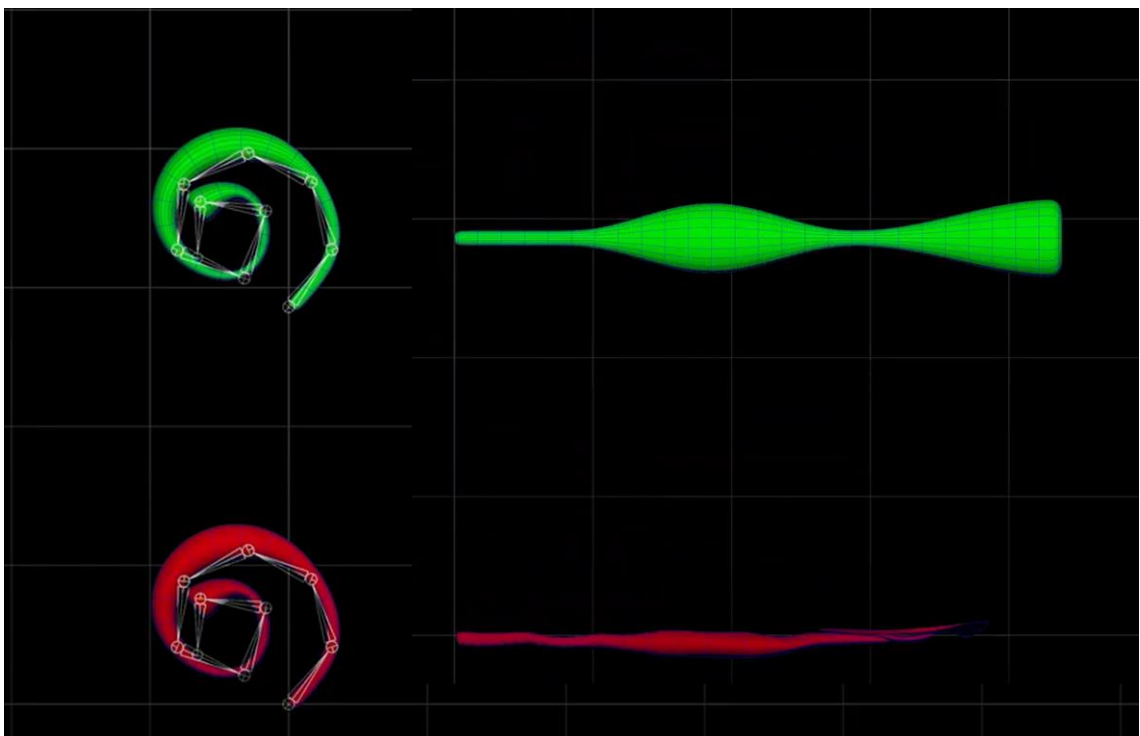
Animoitavaksi tarkoitetun 3D-mallin luomisessa on muutamia huomion vaativia asioita, jotka pitäisi varmistaa ennen riggausvaiheen aloittamista. Muutosten teko 3D-malliin riggaustiedoston sisällä tulisi välttää, sillä se voi altistaa työn teon virheille. Esimerkiksi olisi tärkeää varmistaa, että 3D-mallin tiedostossa irrallisten geometriaosasten tulisi olla yhteisen ryhmän (group) alla. Mallin skaalan tulisi olla halutun kokoinen, ja mallin tulisi katsoa ohjelman sisäisen maailman akselin nähden eteenpäin. Autodesk Mayassa työkalut on suunniteltu siten, että mallin odotetaan katsovan positiivisen Z-akselin mukaisesti. (Briggs 2021, 23-24.)

Animoitava 3D-malli mallinnetaan seisomaan neutraaliin asentoon, jossa piirteet ovat selvästi näkyvissä. 3D-mallinnuksen apuna käytetään olemassa olevaa konseptitaidetta ja malliarkkeja (character sheet), joissa hahmo on kuvattu eri kuvakulmista, kuten edestä, sivulta ja takaa. Niiden käyttö nopeuttaa mallinnusvaihetta, mutta ne eivät kuitenkaan aina ole saatavilla ja hyödynnettävissä, joten ohjaajan tai konseptitaiteilijan tarkoitusten ymmärtäminen 3D-mallia varten on tärkeää tarkan työn jäljen saavuttamiseksi. Kuvakirjaston kerääminen konseptitaideteesta ja valokuva referenssien käyttö on myös hyödyksi tapauksissa, joissa 3D-mallin ominaisuuksista tarvitaan selkeytystä. 3D-mallinnuksen ensimmäisessä vaiheessa mallinnetaan suuret muodot. Hahmon mallinnus alkaa siluetoinnista. Pienet yksityiskohdat mallinnetaan mittasuhteiden, suurten ja yleisten muotojen paikantamisen jälkeen (Dream Farm Studios n.d. a).

Jo hahmon konseptointivaiheessa olisi hyvä huomioida 3D-mallin liikkuvuuden vaatimukset. Esimerkiksi kovien osasten, kuten haarniskan tai vöiden,

asettaminen kehon paljon taipuville alueille voi tuottaa joko rajoituksia mallin vartalon taipumiseen tai aiheuttaa luonnottomia deformaatioita kovissa osasissa. Myös esimerkiksi hihojen asettaminen keskelle kyynärpäätä tai muita taipumispisteitä johtaa usein hankaliin ja luonnottoman näköisiin tilanteisiin taipuvuuden ja meshin massan volyymin suhteen. (Animation Pandemic 2021b.)

Yleisimmin kaksijalkaisten 3D-hahmojen neutraaleilla asennoilla tarkoitetaan joko A-asentoa (A-pose), jossa hahmo seisoo suorassa, kädet 45 asteen kulmassa ruumiiseen, tai T-asentoa (T-pose), jossa kädet osoittavat suoraan sivuille 90 asteen kulmassa. Riggaajan näkökulmasta T-asennossa seisova malli on helpompi toteuttaa, sillä Autodesk Mayan riggaustyökalut on rakennettu kohtisuoran ja rinnakkaisen ruudukkojärjestelmän mukaisesti. A-asennossa seisovat mallit vaativat riggaajalta lisätyötä (Briggs 2021,17).



Kuva 3. Vihreä nauha on rigattu suorana ja animoitu rullaksi. Punainen on taas rigattu rullan muodossa. Animoidessa sen suoraksi se menettää voluumiaan ja muuttaa muotoaan ennalta arvaamattomasti. (Animation Pandemic 2021a.)

Kasvojen toteutuksessa ilme tulisi mallintaa neutraaliksi. Silmäluomet tuottavat yleensä hankaluuksia, sillä mallista riippuen voi olla hankalaa arvioida kuinka paljon massaa luomet tarvitsevat sulkemisanimaatiota varten, ilman että silmämunan ja silmäluomien geometrian välillä tapahtuu näkyviä risteymiä. Ongelmia voi kuitenkin yrittää ennakoida jakamalla luomien massaa tasaisesti silmän ympärille ja mallintamalla silmät puoliavonaisiksi. Suun riggaus helpottuu myös, jos huulten asento on lievästi auki. (Animation Pandemic 2021a.)

3D-mallin toteutuksessa on yleistä pohtia, tulisiko 3D-geometrian osaset yhdistää yhtenäiseksi vai pitää osat erillään. Hyvä nyrkkisääntö on pitää vaihtuvat geometrian osaset, kuten vaatteet, erillisinä osinaan. Usein vähintäänkin hiukset, silmät, kieli ja hampaat ovat hahmoilla erilliset.

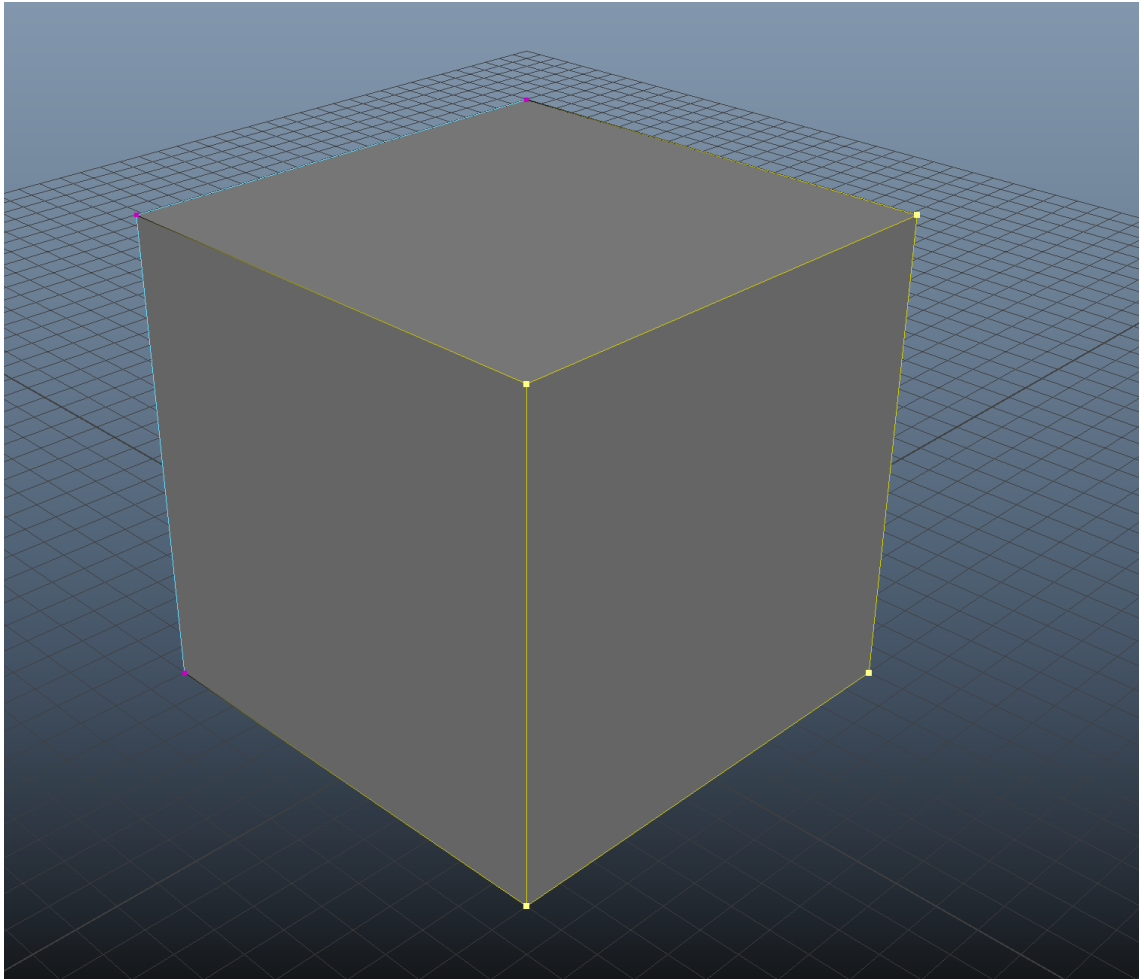
Final fantasy VII Remake -pelissä (2020) hahmojen kasvot pidettiin irrallisina ruumiista uudelleenkäytön vuoksi. Hahmojen kasvot perustuivat samaan topologiaaltaan optimoituun kasvomalliin, joka oli muokattu deformerilla kunkin hahmon veistoksen piirteiden mukaiseksi. Kasvomallit jakoivat samat UV-koordinaatit ja vertekseihin sidotun rigi-systeemin, joka nopeutti teksturointi- ja riggausprosessia huomattavasti, kun tekstuurikarttoja tai luiden sijoittelua ei tarvinnut aloittaa jokaisen hahmon kohdalla alusta asti. (Outgang 2022b.)

Jos mallin kokoon tulee tuotantolinjan aikana muutoksia, ne tulisi toteuttaa vasta, kun riggausvaihe on saatettu loppuun. Hyvän rigin ominaisuuksiin kuuluu skaalautuvuus, joka mahdollistaa mallin koon muuttaminen ympäristöönsä sopivaksi. (Briggs 2021, 23-24.)

3.2 Topologia

3D-objektin pinta koostuu yksinkertaisista geometrisista tasoista, jotka yhdistyvät toisiinsa kahden vertex-pisteen välilleen muodostamien edgejen kautta. Toisiinsa yhteydessä olevat tasot muodostavat 3D-mallin topologian (kuva 4). Topologia terminä viittaa meshin geometrisiin pintaominaisuuksiin.

Topologia on 3D-mallin perusta, joka lopulta johtaa kolmiulotteiseen animaatioon. (Slick 2020.)



Kuva 4. Taso, edge ja vertex 3D-objektin pinnalla.

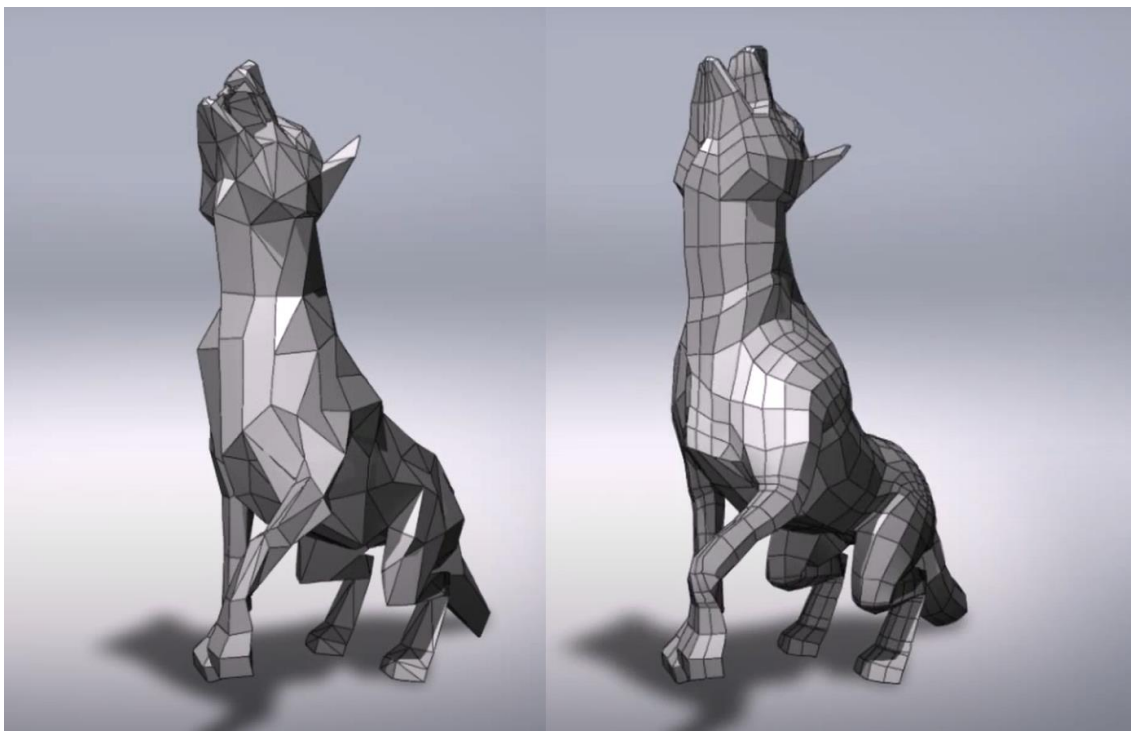
Retopologia on tekninen ja aikaa vievä prosessi, jossa meshin topologiaa yksinkertaistetaan puhtaammaksi ja helpommaksi työskennellä. 3D-mallit yleensä retopologisoidaan, jos meshin on tarkoitus muuttaa muotoaan joillain tavalla, esimerkiksi liikkua 3D-animaatiossa. Veistetyin tai esimerkiksi 3D-skannauksella generoidun 3D-mallin topologia on yleensä tarpeen retopologisoida, sillä näin tuotettu topologia on yleensä liian sekava tai tiheä animoida. (Blender Manual 2019.)

3D-topologiassa tavoitteena on säilyttää mallin muodot tekemällä pinnasta tarpeeksi yksityiskohtaisen, kuitenkin pysyen annetun polygonibudjetin rajoissa.

Alueilla, joilla 3D-mallin täytyy taipua tai liikkua, vaaditaan yleensä polygonien määrän lisäämistä liikkuvuuden sallimiseksi ja luonnottomien vääristymien välttämiseksi. Rigin kannalta eniten haasteita topologiassa tuovat yleensä taipumakohdat. Paljon liikkuvat taipumakohdat, kuten olkapään alue, tarvitsevat yleensä muuta vartaloa tiheämmän topologian liikkeen tukemiseksi. Esimerkiksi kättä nostaessa mallin mesh joutuu venymään asennon saavuttamiseksi. Venyvät polygonit voivat aiheuttaa kulmikkaan ulkonäön, jollei alueella ole tarpeeksi tiheästi aseteltuja edgesilmukoita. (Outgang 2022a.) Staattisten alueiden vaatima polygonimäärä on pienempi. Lisääntyneet polygonimäärät 3D-mallin alueilla, jotka muuttavat muotoaan eniten animaation aikana, kuten nivelet, kasvojen lihaksisto ja liikkuvat osat, ovat välttämättömiä realistisen liikkeen kannalta (Slick 2020).

3.3 Edgeflow

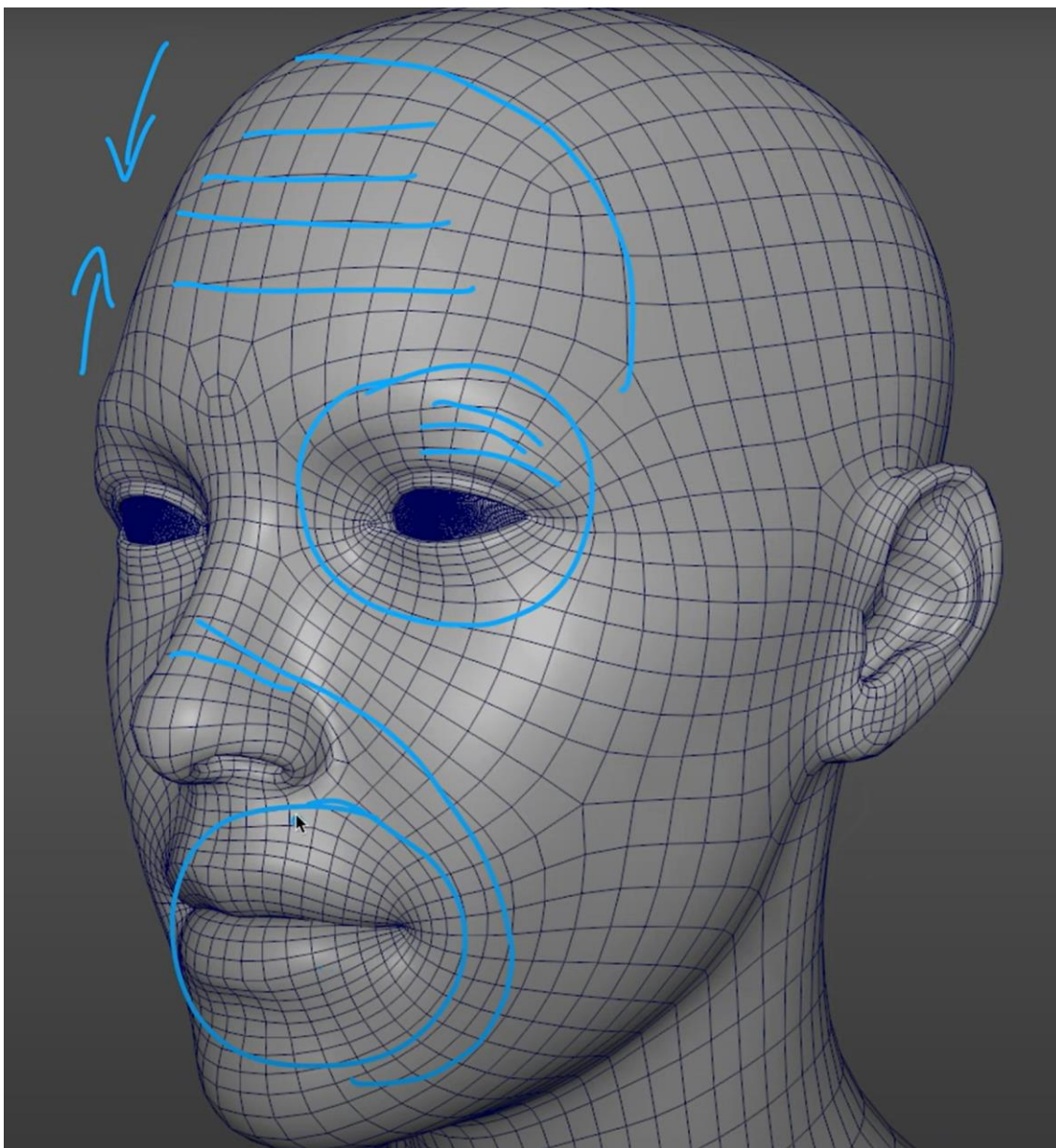
Retopologian tavoitteena on selkeä ja puhdas polygoniverkko eli toimiva edgeflow. Edgeflow tarkoittaa sitä, kuinka mallin edget sijoittuvat 3D-mallin topologiassa ja virtaavat sen pinnalla. Edgeflow'n tarkoitus ei ole vain antaa mallille muotoa, vaan se on myös opas myös animaatioissa tapahtuvien muodonmuutosten selventämisessä. Reunojen mallin pinnalla tulisi opastaa mallin mahdollisia liikeratoja animaatioissa. Huono edgeflow johtaa pahimmassa tapauksessa rosoisiin vääristymiin. (Wharton-Brown 2015.)



Kuva 5. Esimerkki edgeflow'n tärkeydestä. Vasemmalla sekava, kolmioista ja ngoneista koostuva mesh. Oikealla siisti, neliöistä koostuva mesh. (Pluralsight 2014.)

3D-mallin topologian pienin mahdollinen pinnan muoto on kolmio. Pintatasot voivat olla muodoltaan joko kolmioita, neliötä tai ngoneja eli pintoja, jotka koostuvat useammasta kuin neljästä reunasta. Hyvän edge flow'n kannalta ngoneja pyritään yleensä topologiassa välttämään, sillä näitä pintoja on hankala muokata Mayan työkaluilla. Esimerkiksi pinnan jakaminen pienempiin osiin vaikeutuu ngoneja työstettäessä (Creative Shrimp 2019). Animaatiossa ngonit ja kolmiot tekevät pintaan helposti vääristymiä, joten muotoaan muokkaavissa meshin alueissa suositaan yleensä käytettäväksi neliöitä (Pluralsight 2014). Vaikka topologiassa usein peräänkuulutetaan neliöistä koostuvaa, tasaisesti aseteltua topologiaa, staattisten pintojen topologiassa sallitaan poikkeuksia. Tärkeämpää on joskus siluetin tukeminen. (Outgang 2021b). Esimerkiksi Final Fantasy VII Remake -pelissä (2020) hahmojen vaatteissa suuret rypyt mallinnettiin usein myös kolmioita hyödyntämällä (Outgang 2022a). Luonnollisissa taipuvissa osissa, kuten kasvojen ihossa, kolmiot topologiassa saattavat tulla helpommin esiin vääristyminä, joten siellä niitä tulisi välttää.

Topologiaa tehdessä tulisi miettiä, mitkä yksityiskohdat ovat riittävän tärkeitä mallinnettavaksi siluettiin. Esimerkiksi vaatteiden pienet yksityiskohdat, kuten saumat, voi olla parempi saavuttaa tekstuurikarttojen avulla kuin mallintaa niitä topologiaan. On hyvä muistaa, että tasaisen tiheyden omaavat eri 3D-meshit muokkaavat muotoaan yleensä samankaltaisesti. (Animation Pandemic 2021b.)



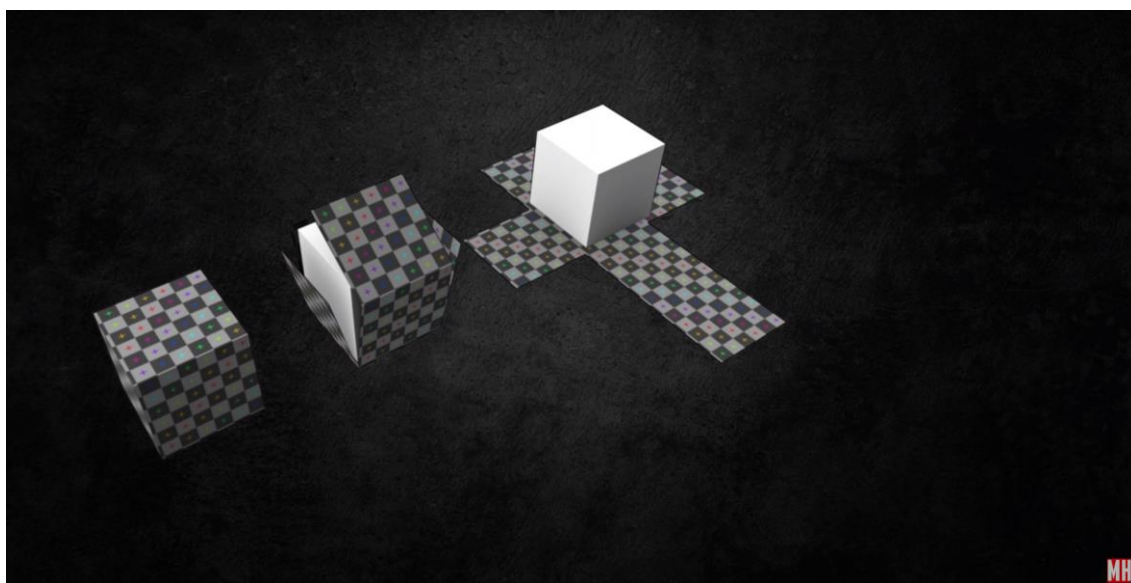
Kuva 6. Hyvä edgeflow tukee lihaksiston muotoja (Hill 2021).

Vaikka hyvin rakennetun edgeflow'n avulla voi välttää ongelmia, topologian toimivuutta ei aina pysty ennustamaan täysin mallinnusvaiheessa. Sen toimivuus yleensä paljastuu riggausprosessin aikana tehtyjen testien lomassa.

3.4 UV-mapping

Hyvän topologian toinen tärkeä tehtävä animaatiossa tapahtuvien deformaatioiden helpottamisen lisäksi on tekstuurien tukeminen. UV-mappaus on prosessi, jossa 3D-objektin pinta projektoidaan 2D-kuvaksi, johon liitetään tekstuurit (MH Tutorials 2023).

Sarjatuotannossa 3D-mallien ulkonäkö saattaa muuttua projektista tai kampanjasta riippuen, esimerkiksi hahmon paita saattaa väliaikaisesti vaihtua toiseksi. Tämä vaikuttaa topologian suunnitteluun ja rakentamiseen sekä animaatiota että tekstuureita varten.

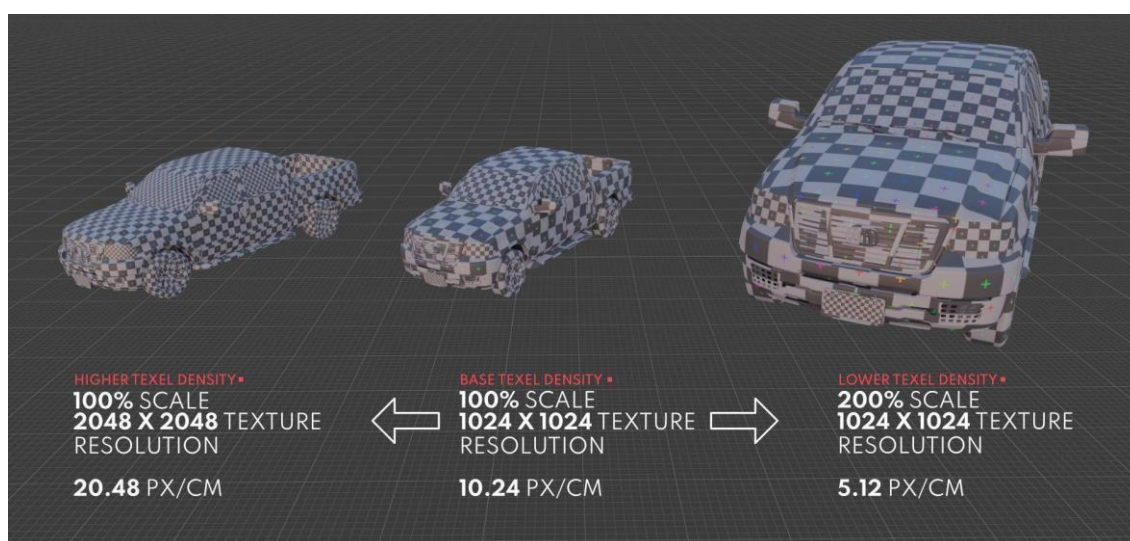


Kuva 7. Havainnekuva UV-mappauksesta (MH Tutorials 2023).

UV-mappauksessa 3D-objekti ikään kuin leikataan edgejä pitkin pienemmiksi kaksiulotteiseksi UV-kuoriksi (UV shell). Prosessissa syntyy välttämätön ja usein harmillinen sivutuote, saumat objektin pinnalle. Saumojen näkyvyyttä pystyy

minimisoimaan tekstuuriin maalauksessa, mutta niiden järjellinen sijoittelu voi parantaa lopputulosta. Esimerkiksi vaatteissa saumat pyritään laittamaan niiden luonnollisille paikoille, kuten olkapäihin tai hihansuihin. Ihossa saumat piilotetaan mahdollisimman huomaamattomiin paikkoihin, kuten niskaan tai sisäreiteen. (Ward 2022.)

Texel on UV-tekstuurikartan mittayksikkö. Yksi texel kartassa pitää sisällään X-määrän, mutta aina vähintään yhden pikselin. Texel density (myös Pixel density tai Texture density) eli texel-tiheys terminä viittaa siihen, kuinka monta pikseliä yksi texel pitää sisällään. Texelit tulisi olla objektin UV-kuorissa tasaisesti ja tarpeeksi tiheästi objektin näkyvyydestä projektissa riippuen. Muussa tapauksessa liian pieni texel tiheys johtaa sumeisiin tekstuureihin objektin pinnalla ja epätasaisesti sijoitetut texelit aiheuttavat tekstuuriin vääristymiä. Texel tiheys riippuu kahdesta eri tekijästä, 3D-objektin koosta ja tekstuurin resoluutiosta. Mitä suurempi objekti, sitä suuremman resoluution se kaipaa oikean tiheyden saavuttamiseksi. (Dries 2022.)



Kuva 8. Havainnekuva objektin koon vaikutuksesta texel-tiheyteen (Dries 2022).

Läheltä tarkasteltavat 3D-objektit vaativat suuren texel densityn terävyyden ylläpitämiseksi. UV-kuorien asettelu ja skaalaus vaikuttavat texelien asettumiseen objektin pinnalla, mitä suurempi alue kuorelle on varattu tekstuureissa, sitä enemmän texeleitä se kattaa. siten on myös suurempi

mahdollisuus lisätä palasen alueelle pieniä yksityiskohtia teksturoinnissa. Yleensä esimerkiksi kasvot leikataan erilleen vartalosta omaksi UV-kuorekseen yksityiskohtien takaamiseksi (Ward 2022).

Joskus vain yksi tekstuurikartta ei ole riittävä tai edes järkevä tapa jakaa UV-kuoria. Hyvin yksityiskohtaisilla hahmoilla esimerkiksi silmät, hiukset, kasvot sekä vaatteiden tai ruumiin eri osat voivat olla omilla tekstuurikartoillaan. Jos sarjakäytössä olevalla hahmolla on vaihtuva asuste tai vaatekappale, se kannattaa laittaa omalle tekstuurikartalleen, jotta sen pystyy vaihtamaan helposti hahmon muihin tekstuurikarttoihin koskematta. (Outgang 2021a.)

4 Riggaus

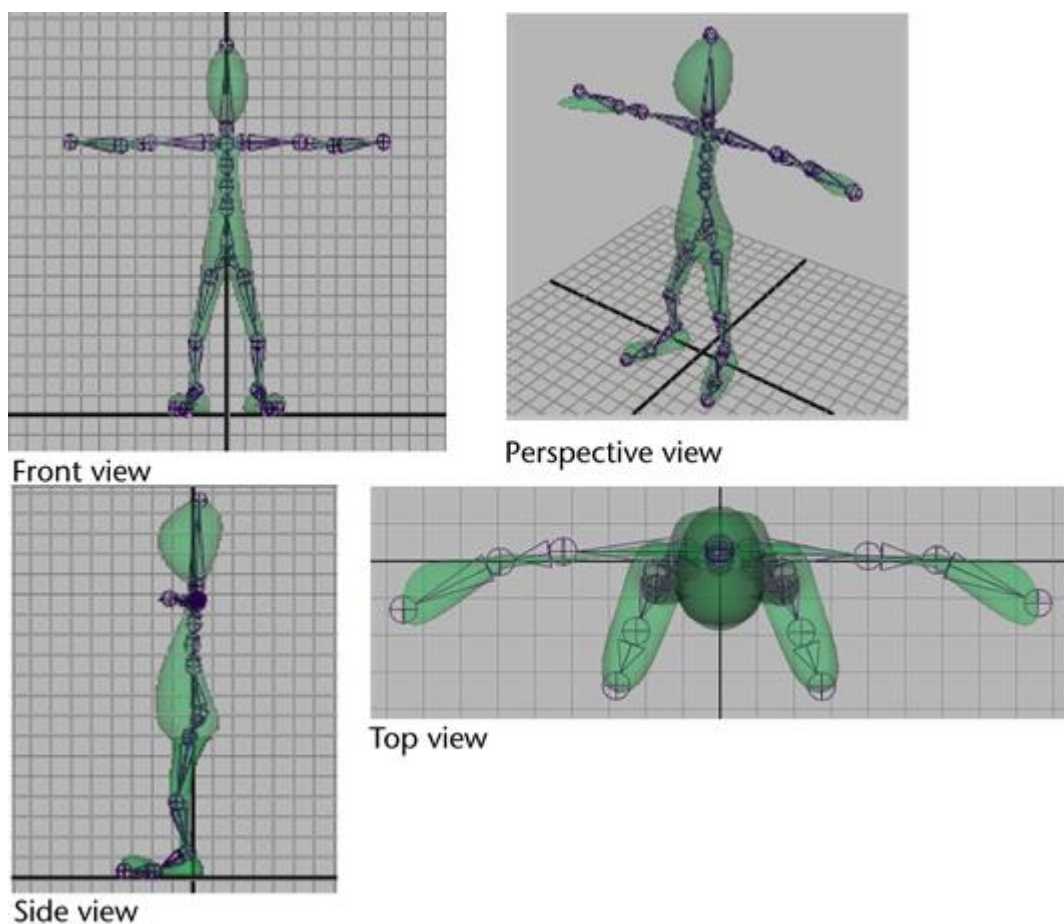
Riggaus on prosessi, joka mahdollistaa virtuaalisen hahmon liikkumisen määrittelemällä hahmon liikeradat ja luomalla ohjaimia niiden suorittamiseksi. Tämä on monimutkainen ja aikaa vievä toimenpide, joka vaatii sekä taiteellista että teknistä osaamista (Bibliowicz 2005). Riggausprosessin teknisen vaativuuden takia monet 3D-ohjelmat sisältävät jonkinlaisia aputyökaluja tai lisäohjelmia prosessin nopeuttamiseksi, esimerkkinä Blender-ohjelman Rigify-lisäosa. Yleistä on myös luoda tai hankkia ulkopuolisilta tahoilta koodeja, joilla nopeuttaa rigin rakentamista. Lisäosat ja koodit kuitenkin perustuvat samoihin riggauksen toimintaperiaatteisiin, jotka olisi hyvä ymmärtää mahdollisten ongelmien välttämiseksi ja ratkomiseksi sekä tilanteita varten, joissa rigiin halutaan lisätä ominaisuuksia. Keskityn tässä osuudessa rigin manuaaliseen rakentamiseen ja huomioihin, joita pitäisi rakennusprosessissa tehdä. Mahdollisimman monikäyttöisen 3D-mallin luomiseksi riggausprosessin tunteminen ja liikeratojen suunnittelu on erityisen tärkeää, sillä riggaajan tulisi osata ennakoida hahmolta vaadittavat liikkeet tuleviakin projekteja varten. Rigin tulisi olisi olla myös animaattorille mahdollisimman helppokäyttöinen.

4.1 Rigin ennakkovalmistelut

Ennen hahmon rigin toteutusta on hyvä analysoida referenssimateriaalin avulla, mitä liikkeitä projekti vaatii hahmolta ja luoda vain se vähimmäismäärä kontrolleja, joita liike vaatii toteutuakseen. Usein tuotantolinjassa kuitenkin paljastuu, että rigiin rakennettu ominaisuus jää lopullisesta animaatiosta pois tai että tarvittava ominaisuus puuttuu kokonaan. (Briggs 2021, 15-16.) Resurssien säästämiseksi on hyvä ymmärtää riggauksen perusteita ja se, miten tehdyt valinnat rigissä vaikuttavat liikkuvuuteen.

Jointit ovat rigin perimmäisiä rakennuspalikoita, joihin 3D-mallin geometria liitetään. Kahden jointin liitos toisiinsa muodostaa luun, jossa hierarkiassa ylempänä olevaa jointtia kutsutaan alemman emo-jointiksi. Hahmon liikuttaminen perustuu siihen sidottujen (skinnattujen) jointtien hallitsemiseen (Autodesk n.d. d).

Emo- ja lapsi-jointeista muodostetut yhteen liitetyt luut muodostavat hahmon luurangon. Kaikissa luurangoissa olevaa, hierarkiassa korkeimpana olevaa luuta kutsutaan root-jointiksi. Tämä luu sijoitetaan yleensä 3D-mallin painovoiman keskipisteelle, esimerkiksi kaksijalkaisella hahmolla keskipiste sijaitsee lantion alueella (Briggs 2021, 16). Rigin luuranko mukaillee usein oikean maailman anatomiaa; jointit sijoitetaan mahdollisimman lähelle oikean luurangon taipumapisteitä ja niveliä.



Kuva 9. Luista koostuva rig-luuranko (Autodesk n.d. b).

3D-ohjelmistoissa objekti liikkuu sen sisäisen koordinaatiston asettamien lakien mukaisesti. Maya-ohjelmistossa käytössä on oikeakätinen suorakulmainen eli karteesinen koordinaatiojärjestelmä. Koordinaatistossa on käytössä kolme akselia, X,Y ja Z, jotka kuvaavat ulottuvuuksien suuntia. Akseleiden risteyskohta on koordinaatiston nollapiste eli origo. Mayassa X-akseli osoittaa oikealta vasemmalle, Y-akseli osoittaa suunnan ylös ja alas ja Z-akseli suuntaa eteen- ja taaksepäin. Tämä on Mayan peruskoordinaatisto (World Space). Objektin oma koordinaatisto (Object Space) tarkoittaa 3D-objektin sisäisen koordinaatiston itsenäistä asentoa maailman akseliin verrattuna. Jos liikutetun objektin translaatio- ja rotaatioarvot jäädytetään, muuttuvat sen akselit maailman koordinaatiston mukaisiksi, mutta origo jää objektin oman koordinaatiston kohdalle. Objektin liikkuminen tapahtuu tästä lähtien origon pisteestä akselien mukaisesti. Tätä kutsutaan emo-objektin koordinaatistiksi (Parent Space). Lokaali rotaatioakseli on vain luilla löytyvä erillinen koordinaatistojärjestelmä

Mayan sisällä, joka vaikuttaa suoraan siihen, kiertyykö luuranko satunnaisesti vai suoraan ja arvattavasti. Ennen minkäänlaisen animaatiojärjestelmän rakentamista on siksi tarkastettava, että luiden lokaalit rotaatioakselit ovat kunnossa ja toimivat. Tässä koordinaatiojärjestelmissä lapsijointin asento määrittää emon lokaalin rotaatioakselin. Lapseton jointti taas seuraa maailman koordinaatistoa. Mayan oletusasetus on se, että emo-jointin X-akseli osoittaa lapseen. Y-akseli pyrkii aina osoittamaan maailman koordinaatistossa ylöspäin, mutta joskus luiden suunnasta riippuen se ei ole mahdollista X-akselin suunnan vuoksi. Tällöin Maya määrää Y-akseliin suunnan satunnaisesti ja se tuottaa ongelmia liikuttaessa luita. Epäsäännölliset rotaatioakselit tuottavat ongelmia etenkin IK-animaatiojärjestelmien kanssa. Ongelmien välttämiseksi jointtien akselit tulisi järjestää uudelleen halutun tuloksen mukaisesti. (Briggs 2021, 28-30.)

3D-animaatiossa usein törmää gimbal-lukkoon eli tilanteeseen, jossa objektia liikuteltaessa kaksi rotaatioakselia asettuvat päällekkäin tehden objektin kiertämisestä tietyn ulottuvuuden suuntaisesti mahdotonta. Joskus, vaikka rotaatiojärjestykset eivät menisikään lukkoon asti, akselit saattavat muuttua epämieluisiksi ja 3D-mallin kiertäminen tiettyyn haluttuun suuntaan vaikeutuu. Luiden neuvokas rotaatioakselien järjestyksen määrittäminen auttaa välttämään tällaisten tilanteiden syntymistä. Mayan oletusrotaatiojärjestys on X,Y, Z, jossa Z on hierarkian päällimmäisin ja muita ohjaava akseli (Autodesk n.d. a). Y-akseli ohjaa X-akselia ja X kiertää vain itseään. Gimbal-lukko syntyy, kun keskimäinen akseli, tässä tilanteessa Y, saa hierarkian päällimmäisen ja pohjimmaisena akselin risteämään. Riggauksen kannalta tilannetta kannattaa helpottaa laittamalla luiden ja animaatiokontrollien rotaatiojärjestys niin, että vähiten animaatiossa käytettävä rotaatioakseli on hierarkian keskellä gimbal-tilanteiden välttämiseksi (GuerillaCG 2009).

4.2 Yleisiä riggaustekniikoita

Rigit kannattaa rakentaa osissa, jotka yhdistetään myöhemmin yhtenäiseksi järjestelmäksi. Usein esimerkiksi raajat, torso ja pää ovat omia itsenäisiä rigi-

systeemejään. Tämä modulaarisuus tekee rigeistä helposti muokattavia ja helpommin ymmärrettäviä. Tämä lähestymistapa auttaa myös anatomialtaan vaikeaselkoisilta vaikuttavien fantasiaolentojen rakentamisessa (Briggs 2021, 20). Riggaustekniikoita on monia, joten luettelen tässä osiossa niistä yleisimpiä, joita voi hyödyntää Autodesk Mayaassa. Muissa ohjelmistoissa periaatteet tai työkalut voivat kulkea toisilla nimillä. Rigin tarpeet ovat aina yksilöllisiä projektista riippuen.

Kinematiikka on fysiikan haara, joka kuvaa objektin geometrisen liikkeen mahdollisuuksia ottamatta huomioon asiaan liittyviä voimia, kuten liikkeen syitä (Encyclopaedia Britannica n.d.). Riggauksessa käytetyt termit forward kinematics (FK) ja inverse kinematics (IK) kuvaavat kahta yleistä animaatiojärjestelmän liikkumistapaa. FK-systeemeissä emo-jointin liike vaikuttaa sen lapsi-jointin liikkeisiin. IK-systeemissä tilanne on päinvastainen ja lapsi ohjaa emoaan (3D Ace 2022). FK-systeemi soveltuu hyvin yksityiskohtaisten kaariliikkeiden animoimiseen, esimerkiksi käsivarren nostamiseen olkapää-jointtia kiertämällä, mutta orgaanisiin liikkeisiin, kuten nostamis- tai työntöliikkeisiin, IK-systeemi soveltuu paremmin (Jain 2019). Erilaisten liikkeiden helpon hallittavuuden mahdollistamiseksi rigeissä usein rakennetaan molemmat FK- ja IK-kontrollit mahdollistava järjestelmä, mikä sallii animaattorin vaihtaa kinematiikkaa animaation tarpeista riippuen.

Luita ei animoida, vaan luita ohjataan animaatiokontrolleilla, jotka yhdistetään luihin jollain tapaa. Animaatiokontrollien tarkoitus on tehdä rigistä ymmärrettävä animaattorille pitämällä kontrollien määrä vähäisenä ilman rigin ominaisuuksien uhrausta (Jain 2019). Kehonosien tavanomaisten kontrollien, kuten raajojen kontrollien, lisäksi rigeistä löytyy usein world- ja root-animaatiokontrolli. World-kontrollia käytetään koko rigin liikuttamiseen ja skaalaukseen, mutta sitä harvemmin animoidaan. Root-kontrolli on hierarkian korkein, muiden kontrollien aloituspiste, jolla useimmiten animoidaan kehon translaatioliikettä (Rokoko 2022).

Yleinen tapa luiden hallitsemiseen animaatiokontrolleilla on käyttää erilaisia constraint-toimintoja kontrollin yhdistämiseen luuhun. Constraint-ominaisuudet asettavat rajoituksia luiden sijainnille, suunnalle tai mittakaavaan muihin objekteihin verrattuna. Constrainteilla voi asettaa objekteille erityisiä rajoituksia ja automatisoida animaatioprosesseja. Niillä voi määritellä emo-objektin ja lapsen liikkeitä jakamalla emo-objektin ja lapsen eri vaikutusalueisiin, mikä joko mahdollistaa tai rajoittaa liikettä (Jain 2019). Esimerkiksi Aim constraint lukitsee objektin rotaatiokanavat (X,Y,Z) estäen rotaatiokanavien arvojen muuttamisen muilla kuin constraintin emo-objektia liikuttamalla (Autodesk n.d. c). Constraint-ominaisuuden etu on se, että constraintin voi kytkeä pois päältä, jos systeemissä on useampi kontrollivaihtoehto, joiden väliltä halutaan valita (Briggs 2021, 61). Esimerkiksi FK-systeemin voi vaihtaa IK-systeemiksi kytkemällä FK- ja IK-constraintin joko päälle tai pois.

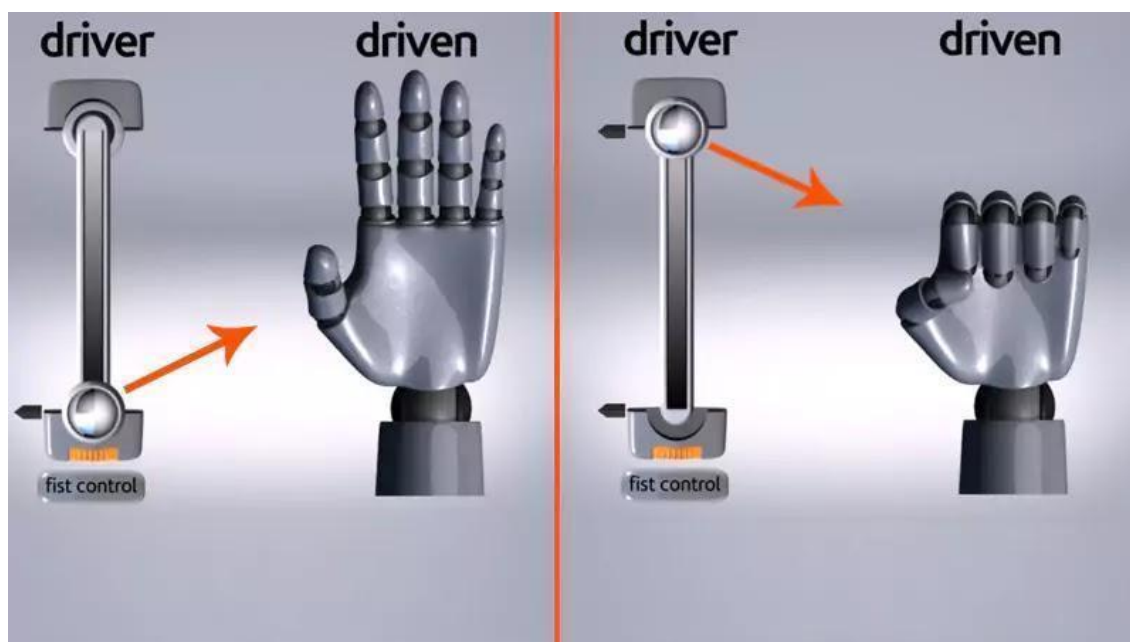
Yksittäisten luiden ohjaaminen animaatiokontrolleilla voi käydä vaivalloiseksi. Riggausprosessin nopeuttamiseksi luodaan usein erilaisia automaattisia systeemejä useamman luun hallitsemiseksi samanaikaisesti tai luiden automaattiseen liikuttamiseen.

Connection editor on työkalu, jolla jonkin objektin attribuutin voi kytkeä vaikuttamaan toisen objektin attribuuttia suorasti. Esimerkiksi, jos animaatiokontrollin X-translaatio yhdistetään jointin Y-rotaatioon, jointti kiertyy lineaarisesti X-translaation summan verran Y-suunnassa aina, kun kontrollin X-translaatio muuttuu. Tilanteissa, joissa kontrollin X-translaation toivotaan vaikuttavan jointin rotaatioon epälineaarisesti, esimerkiksi toivotaan Y-rotaation olevan kaksinkertainen X-translaatioon verrattuna, voi hyödyntää Mayan utility nodeja. Kaikki Mayan objektit ovat visuaalisia representaatioita nodeista. Nodeja lisäämällä tai muuttamalla Node editorissa voi luoda monimutkaisiakin järjestelmiä, joilla kontrolloida rigiä. Nodejen hyvänä puolena on se, että nodejen attribuutteja voi yhdistää animaatiokontrollien säätimiin, antaen animaattorille hyvin vapaat kädet vaikuttaa rigin ominaisuuksiin, ilman että muutokset uhkaavat rikkoa rigin toimintaa. Haittapuolena on taas se, että kovin

pitkälle viedyt node-kytkennät voivat hidastaa tiedostoa ja voivat olla hankalia lukea tai ymmärtää. (Chan 2019.)

Dynaamisten jointtien yleinen käyttötarkoitus on muun muassa 3D-malliin liitettyjen ei-aktiivisten objektien liikkumisen mahdollistaminen 3D-mallin liikkeessä. Esimerkiksi 3D-hahmon vartalon liikkeessä dynaamiset jointit mahdollistavat hiusten tai vaatteiden helmusten itsenäisen liikkumisen (Jain 2019).

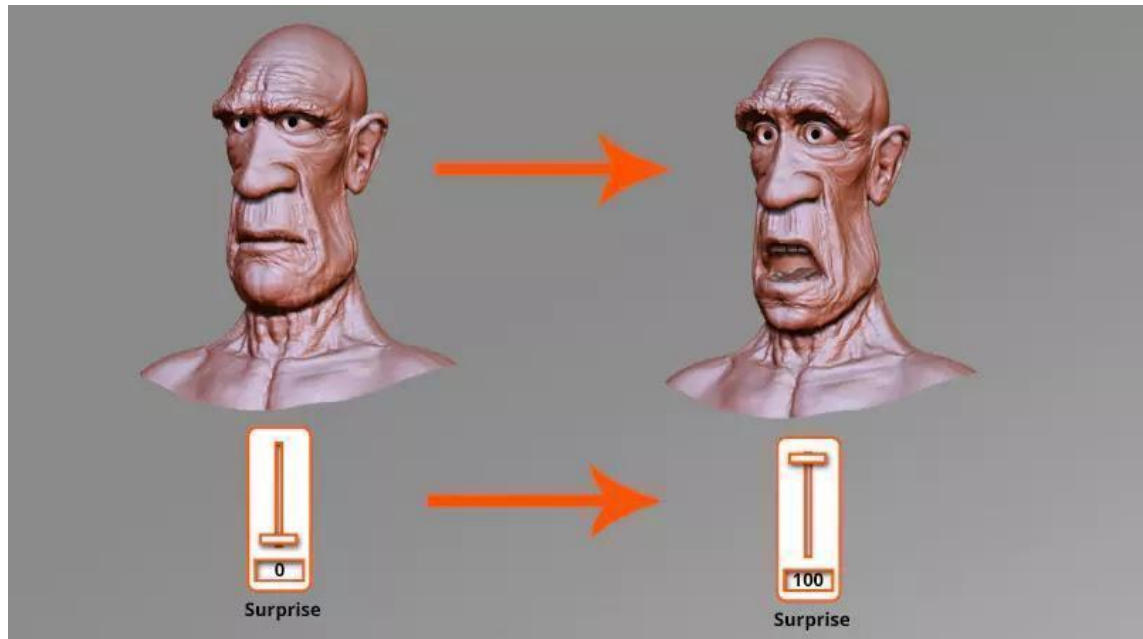
Driven keys-ominaisuutta käytetään usein toistuvien liikkeiden animoimiseen, jotta samaa liikettä ei tarvitse animoida joka kerran uudelleen. Driven keys-ominaisuus luo kontrollihierarkian objektien välille lajittelemalla objektit joko kuljettajiksi (driver) tai ajetuiksi (driven), jossa kuljettaja-objekti hallitsee ajettua animaatiokurvien avulla suorien konnektioiden sijasta. Key-asentoja voi luoda ja avainkehystä (keyframe) samalla tavalla kuin animaatiossa luotuja asentojakin, mutta toisin kuin tavallisessa animaatiossa, key-asennot eivät ole aikajanasta riippuvaisia. Sen sijaan key-asennot riippuvat objektien välisistä suhteesta. (Briggs 2021, 60.) Driven keys-ominaisuuden haittapuoli on sen hankala muokattavuus ja helppo särkyvyys. Driven keys-ominaisuudella syntynyt liikerata on aina vain sen avainkehysten mukainen, mikä saattaa osoittautua animaatiossa riittämättömäksi. Niitä muokatakseen animaattorin tai riggaajan tulisi muuttaa avainkehysten asentoa, mikä altistaa rigin teknisille ongelmille, jossa esimerkiksi kaksi eri animaatiotiedostoa eivät enää täsmää samaan rigiin siirryttäessä uuteen 3D-ohjelmistoon (Ward 2019a.)



Kuva 10. Kuljettajan ja ajetun suhde. (Pluralsight 2023)

Luista riippumattomia riggaustyökaluja ovat deformerit. Deformerit ovat proceduraarisia manipulaatioita, jotka vaihtavat pinnan verticien tai kontrollipisteiden paikkoja, täten muuttaen pinnan muotoa (Bibliowicz 2005). Blendshapet ovat yleisesti käytettyjä deformeita, joita hyödynnetään etenkin kasvojen animaatioissa. Blendshapet mahdollistavat yksityiskohtaiset liikkeet, jotka luu-rigillä olisi vaikea saavuttaa, kuten otsan ihon rypistymisen. Blendshapeja käytetään myös korjaamaan 3D-mallin muotoa sellaisissa asennoissa, joissa rigi vääristää muotoa tavalla, jota ei pysty luuriggauksella korjaamaan (Rokoko 2022).

Blendshapejen käytössä on muutama haittapuoli ja rajoite, joita tulisi huomioida niitä rakennettaessa. Blendshapejen muokattavuus voi olla rajallinen, joten rigeihin lisätään usein myös traditionaaliset kontrollipisteet käytettäväksi blendshapejen yhteydessä, esimerkiksi kasvoanimaatioissa (Pluralsight 2023). Toinen rajoite on blendshapen riippuvuus siihen liitettyyn meshiin ja blendshapejen hankala siirrettävyys meshistä toiseen. Blendshapet tulisi siksi lisätä vain topologiaan ja UV-kartoitukseen viimeistelyihin 3D-malleihin (Briggs 2021, 340).



Kuva 11. Blendshapeja ohjataan animaatiokontrollin sijaan attribuuttiin yhdistetyllä liukusäätimellä (Pluralsight 2023).

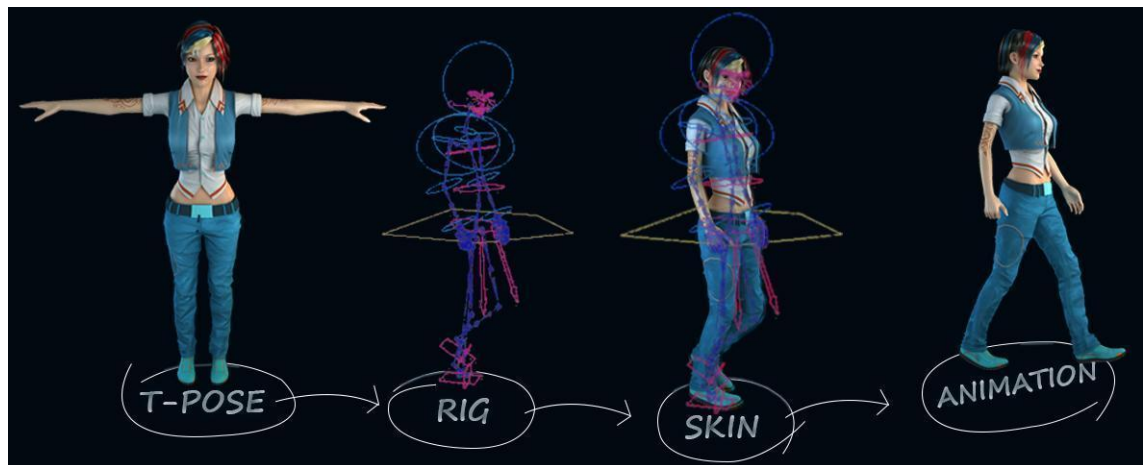
4.3 Skinnaus

Yleensä riggausta ei voi suorittaa ilman skinnausta. Animaatiojärjestelmien rakentamisen jälkeen 3D-meshin sisällä sijaitsee luuryhmistä muodostuvat rigit, jotka ovat yhteydessä toisiinsa. Skinnauksessa jokainen luu yhdistetään tiettyyn meshin polygoniin mahdollistaen jopa pienimmätkin liikkeet eri vartalon osissa, kasvonilmeet mukaan lukien. (3D Ace 2022.)

Weight painting -prosessissa määritellään yleensä manuaalisesti, miten paljon tietty luu vaikuttaa meshissä sitä lähellä sijaitseviin vertekseihin. Huonosti toteutettu skinnaus aiheuttaa meshissä luonnottomia vääristymiä. (Rokoko 2022.)

Riggauksen kompleksisuudesta riippuen rigissä saattaa olla satojakin luita, mikä vaikeuttaa rigi-tiedoston navigoimista. Kaikki rigissä esiintyvät luuryhmät eivät ole edes aina tarkoitettuja liitettäväksi skinnauksella 3D-mallin meshiin, esimerkiksi IK- ja FK-raajat rakentuvat yleensä 3 eri päällekkäisestä luuketjusta, joista vain yksi on tarkoitettu ohjaamaan meshin muodonmuutoksia (Ward

2019b). Työskentelyn helpottamiseksi ja hämmennyksen välttämiseksi tilanteissa, joissa skinnaus täytyy tehdä uudelleen esimerkiksi mallissa tapahtuvan muutoksen vuoksi, on suositeltavaa tehdä tarvittavista luista valintaryhmä (Set) sekä asettaa skinnaustyökalun asetukset työskentelytapaan sopiviksi. Rigien modulaarisuuden vuoksi voi useamman setin teko olla kannattavaa. Esimerkiksi silmien tai kielen luut eivät yleensä vaikuta muun kehon liikkeisiin ja niiden skinnaus vartaloon voi olla turhaa tai pahimmassa tapauksessa skinnausta hankaloittavaa. Kehon ja kasvojen luut pysyvät yleensä yhdessä setissä, muille luille kannattaa luoda omat setit skinnauksen helpottamiseksi (Briggs 2021, 418).



Kuva 12. Animoitavan hahmon tuotantolinja. (Dream Farm Studios n.d. b.)

5 Kansiorakenne

Tehokkaan tiimityöskentelyn takaamiseksi tiedostojen organisointi ymmärrettävällä ja saavutettavalla tavalla yhteiseen pilvipalveluun on erityisen tärkeää. Työharjoitteluni projektissa tiedostot jaettiin Google Drive -pilvipalvelun kautta, joten keskityn tässä osiossa keinoihin, joilla etenkin Drive-työskentelystä saadaan tehokkaampaa, mutta nämä strategiat pätevät myös suurelta osin myös muidenkin pilvipalveluiden organisointiin.

Yksi tapa lähestyä selkeää kansiorakennetta on jaotella kansioille selkeät tavoitteet. Nämä voivat olla esimerkiksi helposti säilytettävyyden, helposti

löydettävyys ja uudelleenkäytettävyys. Hyvin harkittu ja viestitty nimeämis- ja arkistointiprosessi estää organisaation epäjohtonmukaisuudet. Tiedostojen paikantamisen helpottuminen välttää ajan ja vaivan hukkaamista jo olemassa olevien paikallistamiseen tai uudelleen luomiseen. Mallipohjien luominen uudelleen käytettäville tiedostoille, kuten kirjepohjille, vähentää projekteihin käytettyä aikaa merkittävästi. (Soto 2020.)

Nämä tavoitteet mielessä pitäen on hyvä luoda sääntöjä ja menetelmiä driven ylläpitoa varten ennen kun se jaetaan toisten käyttäjien kanssa. Eri tasoiset käyttöoikeudet voivat auttaa työprosessin seuraamisessa ja vastuun osoittamisessa ongelmatilanteiden ilmetessä. Tarkka työnkulun seurauksen vaatii työntekijöiltä henkilökohtaisen google-tilin, eikä tilejä ole suositeltavaa jakaa tekijöiden kesken. Järjestelmänvalvojan oikeuksilla voidaan kontrolloida muiden käyttäjien oikeutta katsoa, muokata tai poistaa tiedostoja yhteisellä drivella. Tiedostot tulisi tallentaa aina suoraan jaetulle asemalle henkilökohtaisen tietokoneen sijasta, jotta uusimmat versiot olisivat saavutettavissa milloin tahansa niitä tarvitseville. Tiedoston latausta omalle laitteelle tulisi myös välttää, sillä muutetun tiedoston takaisin siirtäminen drivelle luo yhden lisäaskeleen työnkulkuun ja pahimmassa tapauksessa johtaa puuttuviin tiedostoihin. (Soto 2020.)

Drivessa kansioille ja tiedostoille on mahdollista antaa sama nimi. Ristiriitojen välttämiseksi on hyvä luoda nimeämiselle käytännöt, jotka helpottavat tekijöitä löytämään oikeat tiedostot ilman hämmennystä. Erilaisia etuliitteitä voidaan käyttää tiedostojen erottamiseksi esimerkiksi aktiivisista jo arkistoituihin. (Farrelly 2022.)

Nimeämiskäytäntöjen ja kansioiden hierarkian tulisi olla selkeitä ja täsmällisiä. Jos nimien käytössä on mukana päivämäärät, niiden tulisi seurata yhtenäistä kronologista muotoa. Erikoismerkkejä tulisi välttää, kun mahdollista. Ohjelmille, joissa käytetään tasoja, kuten Photoshopille, tulisi luoda yhtenevä kansiorakenne työskentelymateriaaleille ja ohjelmasta ulos viedyille tiedostoille.

Jokaisessa projektissa tulisi olla sama kansiorakenne ymmärrettävyyden takaamiseksi. (Soto 2020.)

Tiedostojen järjestämisessä driven ja muiden ohjelmistojen sisällä on hyvä huomioida, ovatko tiedostopolut absoluuttisia vai suhteellisia polkuja.

Projektikansiossa tulisi suosia suhteellisia polkuja. Suhteellinen polku osoittaa kansioon tai tiedostoon projektikansion sisällä, tämä mahdollistaa tiedoston siirtämisen mihin tahansa projektiin, joka sisältää saman kansiorakenteen. Absoluuttinen polku taas etsii tiettyä tietokonetta, jolla se luotiin. Tämä aiheuttaa ongelmia etenkin suuremmissa tiedostoissa ja tuotannoissa, kun projektia siirretään tietokoneelta toiselle. Suhteellinen polku mahdollistaa siirtymisen projektikansiota tietokoneesta toiseen säilyttäen oikean työpolkurakenteen. (Briggs 2021, 21-22.)

6 3D-leijonan toteuttaminen

Aloitin työharjoittelussa loppukevällä 2022. Työskentelin vuonna 2021 perustetulle helsinkiläiselle yritykselle, jonka toimialana on markkinointi- ja mielipidetutkimukset. Kyseessä oli siis tuore firma, joka halusi elävöittää nettisivujaan. Ideana oli tehdä 3D-hahmo nettisivuilla jo olemassa olevan 2D-maskottikuvaa mukailleen sekä lyhyt markkinointivideo, joka tervehtisi yrityksen nettisivuille tulijaa ja johdattaisi liikkeillään ihmisen perehtymään nettisivuihin tarkemmin.

Leijonan suunnittelu lähti nopeasti käyntiin, vaikka haasteena oli löytää hyviä referenssimateriaaleja leijonan anatomialle. Ainoa yrityksessä oleva mallikappale leijonasta oli 2D-kuva, jossa leijona oli istuvassa asennossa dramaattisessa valaistuksessa, eikä leijonan muodot tulleet selkeästi esille. Projektin tavoitteena ei ollut täysi rekonstruktio 2D-mallista, mutta leijonan tulisi siitä huolimatta olla tunnistettava.

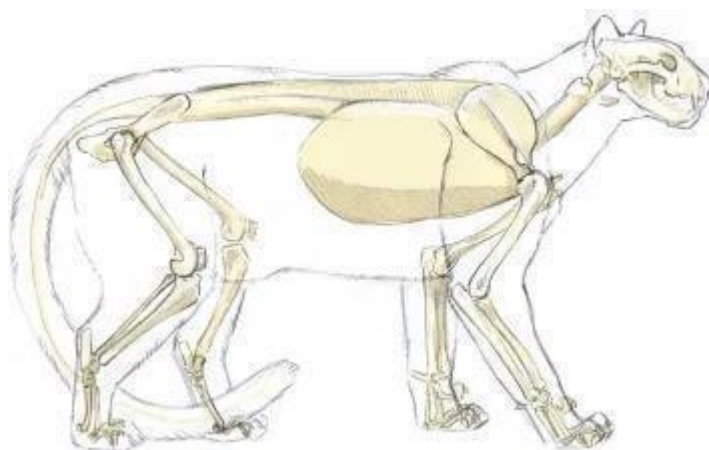
6.1 Veistosprosessi

Käytin leijonan liikkeiden tutkimiseen luontodokumentteja sekä tutustuin sen anatomiaan muiden artistien tekemiä 3D-lihastutkielmia apuna käyttäen.

Aikaisempien kokemusteni perusteella 3D-mallin skaalan mittaaminen Zbrushissa on ollut hankala saada kohdalleen. Skaalaongelmien välttämiseksi aloitin 3D-mallin veistämisen Mayan puolella mallintamalla nopean lowpoly-mallin oikeilla tavoitteellisilla mittasuhteilla, jonka sitten importoin Zbrushiin.

Mietin tulevaa topologiaa ja riggausta jo veistosvaiheessa. Mallinsin veistoksen seisomaan neutraalin asentoon, jättäen hännän horisontaalisesti suoraksi sekä suun avonaiseksi riggauksen helpottamiseksi. Suurin haaste veistämässä topologian suhteen oli miettiä, miten toteuttaa leijonan jalkojen liittymäkohdat ja 2D-hahmon suuret yhtenäiset poskilta lähtevät viiksitupot.

Nisäkkään anatomia on monelle vieras, ja etenkin jalat tuovat paljon hämmennystä. Profiilista katsoen, eläimen kyynärpää ja polvi voivat olla samalla tasolla vatsan tason kanssa, joten nämä nivelet eivät näy vartalon alapuolella. Usein oletetaan, että kehon reunalla oleva nivel on olkapää tai lantio. (Muir Laws n.d.)



Kuva 13. Piirros kissaeläimen luurangosta (Muir Laws n.d.).

Näin on leijonankin anatomiassa. Etujalkojen lihakset liittyvät yläruumiiseen noin rintakehän puolesta välistä lähtien, joten kainalo sijoittuu korkealle kylkiluiden väliin. Mallintamisen kannalta tämä anatominen seikka tuotti minulle vaikeuksia. Etujalkojen liitospisteen korkealla pitäminen olisi saattanut johtaa jalkojen ja rintakehän päällekkäiseen geometriaan, mikä yleensä aiheuttaa ongelmia 3D-mallia teksturoidessa. Lähekkäinen geometria tuottaa usein epätarkkoja reunoja tai läikkiä tekstuurikarttoja beikatessa. Yhtenä ratkaisuna tälle on tehdä mallista samat UV-kartat omaava kopio, jota käytetään teksturoinnin aikana; kopiosta erilliset 3D-osat erotellaan irralleen toisistaan tekstuurikarttojen beikkaamisen ajaksi ja syntyneet kartat käytetään alkuperäiseen malliin teksturoimiseen (Quinn Kuschlich 2022). Leijonan tapauksessa kyse oli kuitenkin yhtenäisestä meshistä, joten mahdollisia beikkausongelmia ei luultavasti olisi voinut ratkoa samalla tavalla. Ongelmien välttämiseksi siirsin etujalkojen liitoskohdan rintakehän tasolle. Perustelin valintaa myös sillä, että isoilla kissaeläimillä on "löysä, pyjamamainen iho" (zagrobelna 2019), eikä liitoskohdan näkyvyys ole aina niin selkeä. Hyväksyin myös samalla sen, että tämä valinta saattaisi negatiivisesti vaikuttaa liikkuvuuteen tai vaikeuttaa skinnausprosessia.

Viikset ovat kivisen leijonan konseptiin kuuluvat tyyliteltyt esteettiset osat, joten niille ei löydy oikean maailman vastinetta, josta katsoa mallia. Viiksien kanssa mietin pitkään, yhdistäkö ne harjan topologiaan, vai pidäkö ne erillisinä osina. Päädyin lopulta pitämään ne yhtenäisinä harjan kanssa, sillä edellä mainitut tekstuurien beikkaushuolet päällekkäisessä topologiassa koskettivat myös tässäkin tapauksessa, ja yhtenäiset viikset osoittautuivat sitä paitsi helpommaksi veistä.

Referenssikuvien puute koitui ongelmalliseksi veistäessä. Asiakkaan toiveena oli jylhä ja arvokas leijona. Mallikuvan leijona on hyvin ryhdikäs ja hoikka, kun taas luonnossa etenkin urosleijonat ovat jykeviä ja vankkarakenteisia. Rakensin rigiä low-poly mallin ja animaation kanssa samanaikaisesti, joten oli vaikea välillä saada selvää, oliko ongelmien syynä 3D-malli, rigi vai yksinkertaisesti vain tietyn animaatiokontrollin väärä asento. Tämä johti useaan revisioon

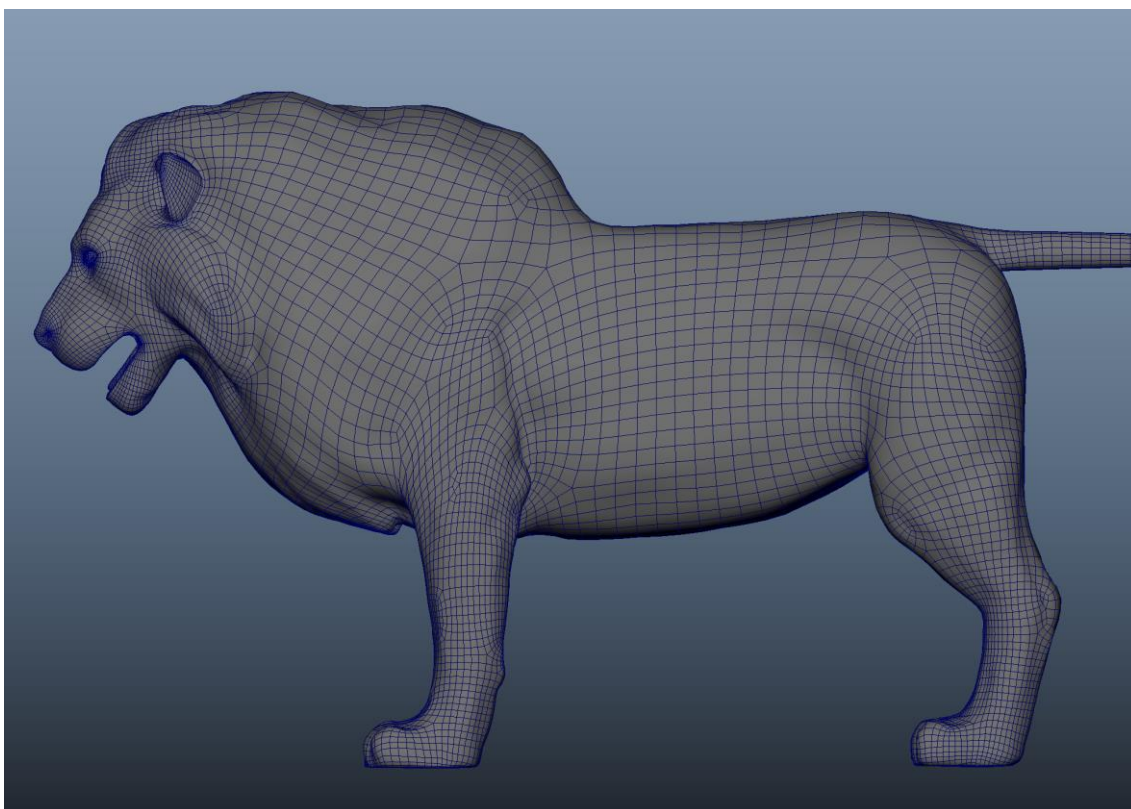
veistoksen suhteen. Esimerkiksi alun perin koitin tehdä veistoksesta oikeaa leijonaa hoikemman, mutta animaatio osoittikin, että leijonan ylväs ryhti antoikin vain illuusion hoikkuudesta ja jouduin muuttamaan mallia vankkarakenteisemmaksi.

6.2 Topologia

Veistosohjelmasta Mayaan tuomani highpoly-malli oli topologialtaan aivan liian tiheä animaatiota varten. Mallin muokkaamiseksi animaatiokelpoiseksi rakensin harvemman topologian käsin käyttäen Mayan quad draw -työkalua. Rakensin vain vasemman puolen mallista, oikean puolen loin duplicate special -toiminnolla, joka luo automaattisesti peilikuvan mallin topologiasta. Leijonan mallissa harja oli epäsymmetrinen, joten jouduin rakentamaan sen käsin. Ajan säästämiseksi käsin rakentamani topologia oli aluksi melkoisen harva. Käytin topologiaan smooth-mesh ominaisuutta, joka lisäsi pintaan topologiaa. Quad draw-työkalua uudelleen käyttäen kävin läpi rakentamani mallin ja asetin meshin edget tasaisemmin veistoksen pintaa mukaillen. Tulevaisuudessa leijonasta saatetaan ottaa lähikuvia, joten jätin sen topologialtaan melko tiheäksi yksityiskohtien säilyttämiseksi.

Leijonamalli koostui kolmesta eri meshistä; vartalosta, silmistä ja hampaista. Materiaaliltaan leijona mukailee kauttaaltaan kiveä, joten en nähnyt tarvetta jakaa geometrian osasia useammalle tekstuurikartalle. Aikarajoitteiden takia huomasin, että olin veistänyt hampaat Zbrushissa hieman liian hutiloiden. Hampaiden topologia oli hyvin tiheä ja päällekkäinen, ja se hankaloitti topologian piirtämistä quad drawilla, sillä työkalu ei erottanut hampaiden sisä- ja ulkopintaa toisistaan. Veistettyjen hampaiden päällekkäinen topologia hankaloitti myös tekstuurien beikkausta, joten päätin luopua niistä täysin ja käytin retopologiasta syntyneitä hampaita niiden sijaan. Retopologisoidut hampaat olivat ehkä turhan tiheät ja topologialtaan välttävät, mutta koska hampaat eivät deformatu animaatioissa, vaan ne pysyvät staattisina paikallaan, en kiinnittänyt niiden topologian edgeflow'n paljon huomiota.

Etujalat ja lavat ovat paljon liikkuvia alueita leijonan kehossa, ja ne tuottivat hankaluuksia topologian suunnittelun suhteen, etenkin kun lavat ovat mallissa suurelta osin harjan alla. Massiivisen ja epäsymmetrisen harjan vääntymistä oli hankala arvioida liikkeessä jalkojen kanssa. Pyrin rakentamaan topologian edge loopit seuraamaan lihaksiston linjoja, mutta ajan puutteen vuoksi parhain mahdollinen topologia jäi vielä etujalkojen ja lapojen osalta uupumaan.



Kuva 14. Leijonan topologia.

Vartalon topologia rakentui pääosin tasaisin asetetuista neliöistä, eikä topologian suhteen vartalossa ollut paljoa ongelmia, lapojen ja harjan aluetta mukaan lukematta. Joissakin alueissa smooth-mesh työkalu lisäsi topologian tiheyttä ehkä liikaakin, mikä toi lisätyötä skinning-prosessiin. Päällekkäinen workflow, jossa veistäminen, riggaus ja animaatio asettuivat välillä päällekkäin aiheutti muutoksia topologiaan useaan otteeseen, kun topologia muokattiin joko uuden veistoksen muodon mukaiseksi tai liikkuvuusongelmat saivat pohtimaan edgeflow'ta uudelleen.

6.3 Riggaus

Toteutin rigin leijonaan itse Autodesk Mayaassa. Vaihtoehtona oli käyttää Blender-ohjelman valmista nelijalkaista Rigify-rigiä. Ajankäytön vuoksi päädyin kuitenkin siihen, että uusien ohjelmistojen opettelu minulle vielä melko tuntemattomassa Blenderissä veisi liikaa resursseja. Olin tehnyt aikaisemminkin nelijalkaisen toimivan rigin, joten sen toteutus uudelleen ei toisi ongelmia. Lisäksi osien kierrättäminen vanhasta rigistä nopeuttaisi prosessia entisestään.

Asiakkaan alkuperäisenä toiveena oli saada vain tietyt ruumiinosat, kuten kasvot ja häntä, liikkuviksi. Minulla oli mahdollisuus luoda tällainen asetti, mutta jatkokäytön takaamisen varten loin rigin ajatuksella, että koko vartalo olisi animaatiokelpoinen. Sen lisäksi asiakkaan ajatus tulevan videon käsikirjoituksesta oli hyvin avoin. Halusin mahdollistaa mahdollisimman laajan liikkuvuuden sen varalta, että käsikirjoitukseen tulisi vielä muutoksia.

Projektin alussa loin muutaman animatikin eli nopean 2D-havainne animaation siitä, millainen lopullisen animaation käsikirjoitus voisi olla. Tulevan alustan tekniset rajoitukset ja markkinointivideoiden yleiset piirteet huomioon ottaen, videon ei kannattanut olla parikymmentä sekuntia pidempi. Asiakkaalle tärkeää videossa oli katseen vangitseminen ja kuljettaminen nettisivuilla oleviin teksteihin. Sommittelu oli myös videossa tärkeää: ylä- ja oikeassa reunassa täytyi olla riittävästi tilaa teksteille, eikä leijona saisi asettua niiden päälle. Lopuksi päädyttiin 20 s pituiseen videoon, alussa on uniikki 10 sekunnin pituinen animaatio, jossa oikeassa reunassa istuva leijona kääntyy katsomaan nettisivulle tulijaa ja asettaa sen jälkeen tassun pallon päälle alkuperäistä 2D-kuvaa mukaillen. Videon loppu on looppaava animaatio hienovaraisesti liikkuvasta leijonasta ja leijailevasta tähtipölystä.

Käytin rigin toteuttamisen apuna Anthony Wardin antCGI -Youtube kanavallaan tekemää jointteihin perustuvaa nelijalkaisen hahmon riggaustutoriaalia. Pelkistin tekemääni rigiä aikataulun ja animaation käsikirjoituksen vuoksi hieman, esimerkiksi tutoriaalissa esiintyvät raajojen ja kaulan venyvyys jäi pois, samoin

koko rigin skaalautuvuus sekä jalkojen että hännän dynaamiset rigisimulaatiot. En nähnyt niille tarvetta tämän animaation liikkuvuuden kannalta, mutta tulevaisuudessa näistä ominaisuuksista saattaisi olla hyötyä.

Riggaus alkoi keskeneräisellä 3D-mallilla. Kuten aikaisemmin mainitsin, mallintamis- ja riggausvaihe asettuivat aikataulurajoitteiden takia päällekkäin. Riggausta helpotti rigin osasten modulaarisuus. Kasvot, kaula, raajat ja vartalo olivat kaikki itsenäisiä rigejään, jotka yhdistettiin toisiinsa hierarkian ja constraint-ominaisuuksien avulla.

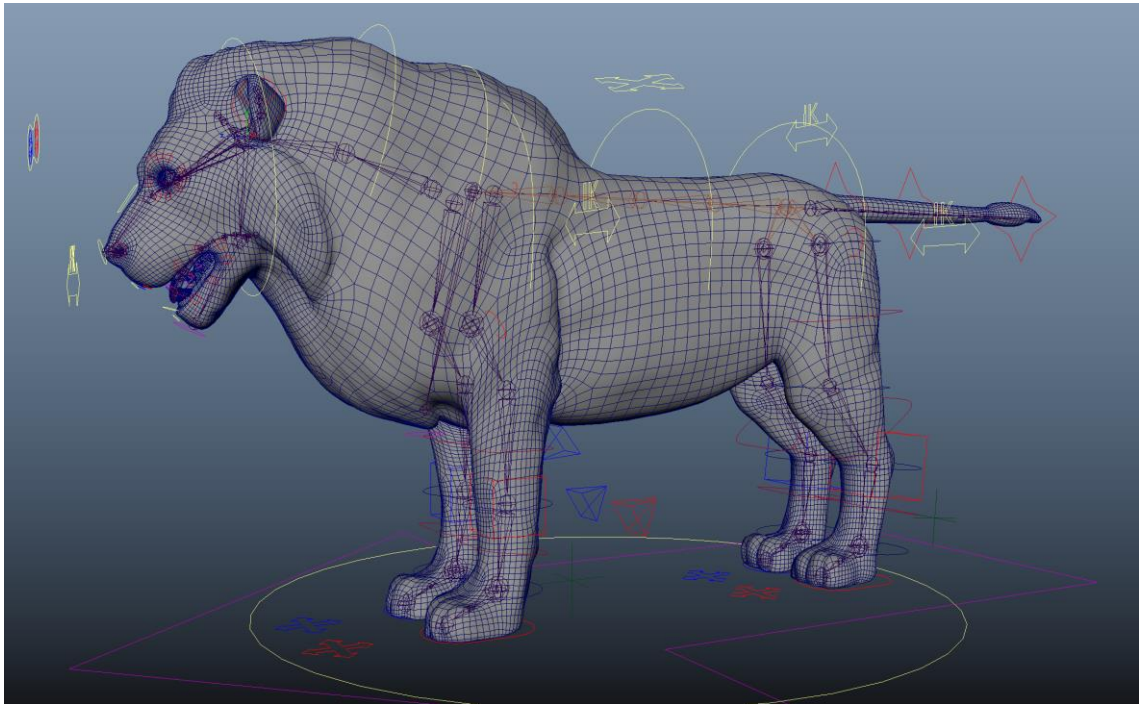
Aloitin riggauksen asettamalla kehoon jointit, joihin geometria lopulta skinnataan, kiinnittäen etenkin huomiota niiden rotaatioon ja siihen, että niiden sijoitus mukailisi oikean leijonan nivelten taipumakohtia. Eläinten etu- ja takajalat poikkeavat hieman toisistaan, joten ne vaativat hieman erilaisia rigi-systeemejä toimiakseen realistisesti. Jalkojen rakensin FK- ja IK-systeemit, sekä lisäsin myöhemmin ribbonit, eli asteittaisen kiertymisen ja venymisen mahdollistavat taipuisat apupinnat, jotka mahdollistivat nivelten välisten alueiden taivuttamisen lisäkontrollien avulla. Tämä koitui erittäin hyödylliseksi animaatiovaiheessa, jossa istuma-asennon replikointi vaati raajoilta paljon mukautuvuutta. Jalkojen ribboneihin olisi ollut mahdollista liittää venyvyys-ominaisuus, mutta aikataulun vuoksi uhrasin tämän pois rigistä. Tulevaisuutta varten ominaisuus olisi hyödyllistä lisätä.

Selän rigi perustui IK-spline-systeemiin. IK-spline handle ohjasi selän ribbonia, jonka sisäiset jointit skinnattiin geometriaan. Kuten jaloissakin, selän ribbon mahdollisti joustavan liikkuvuuden. Jaloista poiketen rakensin selästä venyvän. Kissaeläimet ovat sulavaliikkeistä, sekä tiesin, että animaatio vaatisi selältä liikkuvuutta, joten kaikki liikkuvuuden apuominaisuudet olisivat rigissä tarpeen. Rakensin selälle kontrollit lapojen alueelle, keskiselkään ja lantion alueelle. Monimutkaisen järjestelmän yksinkertaistaminen kolmeen kontrolliin helpottaa animaatioita. Hännän rigi oli sekoitus FK-kinematiikkaa ja IK splineen perustuvaa systeemiä.

Tutoriaalin mukaisesti kaula olisi pitänyt rakentaa samankaltaiseksi kuin selkä, mutta pelkistin sen vain yksinkertaiseen FK-järjestelmään. Tämä valinta saattoi helpottaa työskentelyäni hieman, sillä huomasin, että kaulan pituutta piti muuttaa ronskisti veistoksessa animaatiota varten. Ik-spline -systeemin muuttaminen olisi ollut paljon haastavampaa nykyiseen systeemiin verrattuna. Toisaalta jäin miettimään, olisinko kaulan venyvyysominaisuudella välttynyt tekemästä muutoksia mallin kaulan pituuteen. Olisi kyllä myös saattanut käydä niin, että venyvä rigi kaulassa olisi venyttänyt myös mallin tekstuureita epämiellyttävällä tavalla.

Kasvoissa oli yksinkertaiset korva-, kuono ja silmäkontrollit. Silmäkulmiin ja huuliin asetin ribbonit, jotka auttoivat laajemman ja yksityiskohtaisemman liikkuvuuden saavuttamisessa. Kieli oli täysin erillinen riginsä. Kieleen rakensin häntää imitoivan venyvän IK-FK-järjestelmän sekä lisäsin kielen ulkoreunaan ribbonin, joka mahdollisti kielen rullauksen U-muotoon. Pyrin asettamaan kasvojen jointit topologian mukaisesti, mutta muutokset mallin mittasuhteisiin vaikeutti jointtien täsmällistä sijoittamista.

Kasvot olisivat luultavasti hyötäneet blend shapen teosta, sillä leijonalle ominaisen karjaisuilmeen teko on leijonalle nykyisellä rigillä lähes mahdotonta. Sen toteutukseen tutkimiseen taikka itse toteuttamiseen ei kuitenkaan jäänyt aikaa aikarajoitteiden vuoksi. Lisäsin kuitenkin muutaman blendshapen leijonan raajoihin auttamaan alueita, joita skin weights -maalauksella ei saanut muokattua luonnollisen näköiseksi.



Kuva 15. Valmis rigi

6.4 Dokumentaatio ja kansiorakenne

Tämän projektin jakamiseen ja yhteistyöhön käytettiin Google Drive -pilvipalvelua. Alusta alkaen pyrin selkeyteen kansiorakenteen kannalta ja jaoin projektin tiedostot ohjelmistoittain. Käytin projektin tekemiseen Autodesk Maya, Zbrushia, Substance Painteria sekä After Effects -jälkikäsittelyohjelmaa. Lisäksi loin kansiot asiakastapaamisia sekä kuva- ja tekstitiedostoja varten.

Maya-kansio oli kaikista monimutkaisin. Sen sisään sijoitin 3D-mallin, rigin, tekstuurit ja animaatiotiedostot. Loin jokaiselle vaiheelle omat kansionsa, joiden sisälle laitoin vielä 'old'-nimisen kansion keskeneräisille versioille. Kansion juuressa oleva tiedosto merkitsi kaikista uusinta versiota, jota ainoastaan saisi käyttää animaation tekemiseen.

Projektiin tuli paljon muutoksia työprosessin aikana, joten tiedostojen määrä paisui jokaisessa kansiossa usein monikymmeniseksi. Nimeämiskäytännön tarkempi määrittely projektin alussa olisi voinut helpottaa työskentelyäni. Nimesin usein uudet tiedostot versionumeroittain, mutta esimerkiksi päivämäärän tai

riggausvaiheen lisäys tiedoston nimeen olisi saattanut auttaa. Helposti luettavan tiedostojärjestelmän luonti vaatii vielä lisätutkimusta.

Asiakasta varten lopulliset tiedostot siirrettiin rakenteeltaan tekemääni leijonakansiota mukailevaan kansioon. Lopullinen kansio on työskentely kansiota siistitympi, kaikki keskeneräiset tiedostot jäivät sen ulkopuolelle ja vain tarpeelliset tiedostot otettiin siihen mukaan.

Pyrin rigiä rakentaessani tekemään siitä mahdollisimman selkeästi ymmärrettävän. Siitä huolimatta rigiin tutustuminen vie aina aikaa, joten seuraavaa käyttäjää varten loin dokumentin rigin parissa työskentelystä. Dokumentissa selitin lyhyesti rigistä löytyvistä ominaisuuksista ja yleisistä ongelmista, joita työnkulussa saattaa koitua, sekä kiertoteitä näihin ongelmiin.

6.5 Kohdatut ongelmat

Suurin ongelma leijonan toteutuksessa oli referenssien puute alkuperäisestä hahmosta. Monet työskentelyvaiheet asettuivat päällekkäin ja tämä vaikeutti ongelmien paikallistamista animaatioissa. Oli esimerkiksi vaikea saada selville, olivatko näkyvät ongelmat mallista vai rigistä johtuvia. Olin myös alunperin asettanut itselleni liian kunnianhimoisen aikataulun työmäärään suhteutettuna. Etenkin videon rendering-prosessi koitui aikataulun osalta ongelmalliseksi käytössäni olleen tietokoneen tehottomuuden takia.

En animoinut rigiä omassa tiedostossaan, vaan toin sen uuteen animaatiotiedostoon reference editorin kautta, jotta voisin tehdä rigiin päivityksiä tarvittaessa ilman että kadotan tehtyä animaatiota. Tässä vaiheessa enempi tietämys tiedostopoluista olisi saattanut auttaa työnteossa. Esimerkiksi oman tietokoneeni kieliasetukset ovat englanniksi, kun taas yhteinen drive on suomeksi. Tämä olisi saattanut tuoda ongelmia, jos olisin vaihtanut työskentelykonettani kesken projektin. Tiedostopolut sotkeutuivat siitä huolimatta muutamaan otteeseen, kun yhteistä drivea siistiittiin ja yläkansioden nimiin tuli muutoksia. Jouduin esimerkiksi asettamaan 3D-mallien tekstuurit uudelleen ja

lataamaan rigin uudelleen animaatiotiedostoon. Onneksi työstämäni tiedostot olivat pieniä, isommassa projektissa tästä olisi voinut koitua suurempaa päänvaivaa ja ajanhukkaa.

7 Johtopäätökset

Opinnäytetyössä oli tarkoitus tutkia animaatiokelpoisen 3D-mallin rakentamista sarjakäyttöön. Tutkimukseni inspiraationani oli toteuttamani leijonahahmo. Leijonasta tuli lopulta monista ongelmista huolimatta toimiva toivottua animaatiota varten. Tulevaisuuden projekteja varten topologian parannus ja rigin vieminen pidemmälle, esimerkiksi raajojen ja kaulan osalta saattaisi olla kuitenkin tarpeen. Ennakkosuunnittelun ja konseptoinnin tärkeys tuli esille projektin edetessä. Haastavin osuus oli alkuperäisen 2D-hahmon ulkonäön replikointi, samalla kun yritin saada 3D-topologiasta toimivan animaatiota varten. Etenkin leijonanharjan topologia joutui taipumaan paljon istuma-asennon saavuttamiseksi. Tämä aiheutti epätoivottua vääntymistä sekä tekstuuriin venymistä harjan alueella, jonka ratkaisemiseen kului paljon aikaa.

Opinnäytetyötä kirjoittaessa jälkiviisaus korostui, kun enemmällä ajalla pystyin paneutumaan teorian asioihin ja alan ammattilaisten käytäntöihin esimerkiksi topologian tai riggauksen suhteen. Pehdyin myös siihen, miten jo tehtyjä 3D-elementtejä uudelleen käyttämällä voi tehostaa työnkulkua ja säästää resursseja. Kuitenkin pääpaino opinnäytetyötä kirjoittaessa siirtyi monikäyttöisen 3D-mallin suunnittelun tätä tarkoitusta varten ja tarjoaa enemmänkin eväitä mallin alusta asti rakentamiseen. Opinnäytetyössä läpikäymäni asiat olivat jotakuinkin pintapuolisia topologian ja riggauksen perusasioita. Tutkimustani vaikeutti hyvien ja syvästi etenkin riggaukseen paneutuvien lähteiden puute. Sarjakäytössä muuntautumiskykyisemmät ja kompleksisemmät rigit ja riggaustyökalut ovat varmasti tarpeen, etenkin jos projektissa on useampi 3D-malli, jotka tarvitsevat rigin toimiakseen. 3D-meshin suhteen myös proseduraalinen hahmojen tuotantotapa voisi olla tutkimisen arvoinen asia.

Näiden kokemusten pohjalta koen kuitenkin kehittyneeni 3D-mallien rakentamisessa ja saavuttaneeni paremman ymmärryksen 3D-maailman toimintatavoista.

Lähteet

3D Ace 2021. What Is 3D Sculpting and where you can use it. Verkkosivu. <<https://3d-ace.com/blog/what-is-3d-sculpting-and-where-can-you-use-it/>> (viitattu 14.3.2023).

3D Ace 2022. 3D Model Rigging The Meaning and Particularities of the Process. Verkkosivu. <<https://3d-ace.com/blog/3d-model-rigging/>> (viitattu 14.3.2023).

Animation Pandemic 2021a. Neutralising the face pose before rigging for animation. Verkkovideo. 19.4.2021. <<https://www.youtube.com/watch?v=2Fbmxy-iRQM>> (viitattu 14.3.2023)

Animation Pandemic 2021b. Skinning a full character. Painting, mirroring, and transferring skin weights (Maya & NGskintools). Verkkovideo. 12.4.2021 <<https://www.youtube.com/watch?v=Xu1qXBgU6sQ>> (viitattu 14.3.2023)

Autodesk N.d. a, Maya Help: Animated rotation in Maya. Verkkosivu. <<https://help.autodesk.com/view/MAYAUL/2016/ENU/?guid=GUID-CBD30A0A-1166-4076-A564-1ADC946A15F3>> (viitattu 18.4.2023).

Autodesk N.d. b, Maya Help: Building skeletons. Verkkosivu. <<https://help.autodesk.com/view/MAYAUL/2023/ENU/?guid=GUID-906B71D3-C153-4880-A8EF-F9A6D1AE4AD5>> (viitattu 18.4.2023).

Autodesk N.d. c, Maya Help: Constraints. Verkkosivu. <<https://help.autodesk.com/view/MAYAUL/2023/ENU/?guid=GUID-7665A291-FAA7-44C0-BDEB-A6C83482116C>> (viitattu 17.4.2023).

Autodesk N.d. d, Maya Help: Joints and bones. Verkkosivu. <<https://help.autodesk.com/view/MAYAUL/2016/ENU/?guid=GUID-1B59334F-2605-44C3-B584-A55B239A2CBE>> (viitattu 17.4.2023).

Bibliowicz, Jacky 2005. Automated Rigging System for Facial Animation. M.Sc. Thesis. Cornell University. Program of Computer Graphics. Pro Gradu. <<https://www.autodesk.com/research/publications/an-automated-rigging-system>> (viitattu 14.3.2023).

Blender Manual 2023. Retopology. Verkkosivu. <<https://docs.blender.org/manual/en/latest/modeling/meshes/retopology.html>> (viitattu 14.3.2023).

Briggs, Cheryl 2021. An Essential Introduction to Maya Character Rigging. Boca Raton: CRC Press Taylor & Francis Group.

Browne, Robert 2014. The Many Faces of Lara Croft: Tomb Raider [Infographic]. HalloweenCostumes.com Blog. Verkkosivu.

<<https://www.halloweencostumes.com/blog/p-468-tomb-raider-infographic.aspx>> (viitattu 25.4.2023).

C&I studios 2021. How 3D Modeling is Useful in Advertising. Verkkosivu. <<https://c-istudios.com/ci-news-press/>> (viitattu 14.3.2023).

Chan, Matthew 2010. What are nodes and connections in Maya? Maya Learning Channel. Verkkovideo. 12.4.2019
<<https://www.youtube.com/watch?v=hpz2vksl7Q>> (viitattu 4.5.2023).

Creative Shrimp 2019. Are Ngons Really That Evil in 3D Modeling?. Verkkosivu. <<https://www.creativeshrimp.com/ngons-tutorial.html>> (viitattu 18.4.2023).

Cross, Dani 2022. Battlefield 2042 Re-Uses Models from Battlefield 2 - and that's OK. Fraghero. Verkkosivu. <<https://fraghero.com/battlefield-2042-re-uses-models-from-battlefront-2-and-thats-ok/>> (viitattu 14.3.2023).

Dream Farm Studios N.d. a, What is 3D Modeling. Verkkosivu. <<https://dreamfarmstudios.com/blog/what-is-3d-modeling>> (viitattu 14.3.2023).

Dream Farm Studios N.d. b, What is 3D rigging? how to do it in 4 steps + best softwares. Verkkosivu. <<https://dreamfarmstudios.com/blog/what-is-3d-rigging/>> (viitattu 27.4.2023).

Dries, Timothy 2022. Texel Density. Beyond Extend. Verkkosivu. <[https://www.beyondextent.com/deep-dives/deepdive-texeldensity#:~:text=Texel%20density%20\(also%20referred%20to,meter%20\(256px%2Fm\).>](https://www.beyondextent.com/deep-dives/deepdive-texeldensity#:~:text=Texel%20density%20(also%20referred%20to,meter%20(256px%2Fm).>) (viitattu 25.4.2023).

Encyclopedia Britannica N.d.. Kinematics. Verkkosivu. <<https://www.britannica.com/science/kinematics> > (viitattu 27.4.2023)

Farrelly, Jessica 2022. The Google Team Drive Best Practices Your Business Should Consider Following. Electric. Verkkosivu. <<https://www.electric.ai/blog/the-google-team-drive-best-practices-your-business-should-consider-following>> (viitattu 14.3.2023).

GuerillaCG 2008. Euler (gimbal lock) Explained. Verkkovideo. 14.1.2009. <<https://www.youtube.com/watch?v=zc8b2Jo7mno>> (viitattu 18.4.2023).

Hill, J. 2006. EVERYTHING You Need to Know About Topology. J Hill Verkkovideo 13.8.2021. <https://www.youtube.com/watch?v=6Kt0gW3_kio> (viitattu 26.4.2023).

Jain, Ayushi 2019. Medium. 3D Rigging: Essential for Animation & Character Design. Verkkosivu. <<https://medium.com/wharf-street-studios/3d-rigging-essential-for-animation-character-design-11438c6962d6>> (viitattu 25.4.2023).

MH Tutorials 2011. UV Mapping in Maya 2023 made EASY. My process explained. Verkkovideo. 13.3.2023
<https://www.youtube.com/watch?v=217vrUjR_dU> (viitattu 25.4.2023).

Muir Laws, John N.d. How to draw mammals: comparative anatomy of the legs. Verkkosivu. <<https://johnmuirlaws.com/how-to-draw-mammals-comparative-anatomy-legs/>> (viitattu 14.3.2023).

Outgang 2021a. Cloud Strife Character Model Breakdown (Final Fantasy 7 Remake). Verkkovideo. 22.12.2021 <<https://www.youtube.com/watch?v=w8SjXHQ8ASY>> (viitattu 14.3.2023).

Outgang 2021b. Quads and Edgeloops are Overrated. Verkkovideo. 25.10.2021 <https://www.youtube.com/watch?v=kv1v_f01LHU> (viitattu 14.3.2023).

Outgang 2022a. The Character Art Secrets of Tifa Lockhart Revealed. Verkkovideo. 28.1.2022 <https://www.youtube.com/watch?v=Arbg8O2iH_0> (viitattu 14.3.2023).

Outgang 2022b. The Secrets of Sephiroth's Character Model. Verkkovideo. 28.2.2022 <https://www.youtube.com/watch?v=_7aqykh6_p4> (viitattu 14.3.2023).

Pixready 2021. A Deep Dive into 3D Marketing and 3D Advertising. Verkkosivu. <<https://pixready.com/blog/3d-marketing-and-3d-advertising>> (viitattu 14.3.2023).

Pluralsight 2014. Why Are Ngons and Triangles so Bad? Verkkosivu. <<https://www.pluralsight.com/blog/film-games/ngons-triangles-bad>> (viitattu 18.4.2023).

Pluralsight 2023. Key 3D Rigging Terms to Get You Moving. Verkkosivu. <<https://www.pluralsight.com/blog/film-games/key-rigging-terms-get-moving>> (viitattu 3.5.2023).

Pluralsight Courses and Tutorials 2007. CG101: What is Edge Flow on models? Verkkovideo. 25.3.2014. <<https://www.youtube.com/watch?v=Lip59doQQRk>> (viitattu 14.3.2023).

Quinn Kuslich 2018. How To Fix Overlapping Baking Issues in Substance Painter. Verkkovideo. 1.2.2022. <<https://www.youtube.com/watch?v=YNSUzyYgH3I>> (viitattu 14.3.2023).

Rokoko 2022. Everything You Need to Know About 3D Animation Rigs in 5 Minutes. Verkkosivu. <<https://www.rokoko.com/insights/guide-to-3d-animation-rigs>> (viitattu 27.4.2023).

Slick, Justin 2020. The definition of topology and its purpose in 3D animation. Lifewire. Verkkosivu. <<https://www.lifewire.com/topology-in-3d-animation-2181>> (viitattu 14.3.2023).

Soto, Iliana 2020. How to Effectively Organize Files on a Shared Drive to Boost Productivity. Creative Propulsion Labs. Verkkosivu. <<https://www.creativepl.com/blog/organize-files-boost-productivity>> (viitattu 14.3.2023).

Ward, Antony 2019a. #RiggingInMaya | Part 4 | Fundamentals | Set Driven Keys & Utility Nodes. AntCGI. Verkkovideo 16.6.2019. <<https://www.youtube.com/watch?v=vIXDe2D5qYI>> (viitattu 4.5.2023).

Ward, Antony 2019b. #RiggingInMaya | Part 5 | Basics | IK & FK | Limb Rigging. AntCGI. Verkkovideo 17.7.2019. <https://www.youtube.com/watch?v=uzHn_4ByyjY&t=1146sl> (viitattu 18.4.2023).

Ward, Antony 2022. #ModelingInMaya | Base Mesh | UV Mapping. AntCGI. Verkkovideo. 23.9.2022. <<https://www.youtube.com/watch?v=6TJr0G71U14>> (viitattu 25.4.2023).

Wharton-Brown, Joseph 2015. What is edgeflow. Creative Creator-Blogi. <<https://universityworkblog.wordpress.com/tag/what-is-edge-flow/>> (viitattu 14.3.2023).

Zagobelna, Monika 2019. SKETCHBOOK ORIGINAL: HOW TO DRAW BIG CATS. Blogi. <<https://monikazagobelna.com/2019/07/28/sketchbook-original-how-to-draw-big-cats/>> (viitattu 28.4.2023).

Zwiezen, Zack 2019. The Clever Ways Game Developers Reuse Assets, Like Turning A Tank Into A Destiny Boss. Kotaku. <<https://kotaku.com/the-clever-ways-game-developers-reuse-assets-like-turn-1835358385> > (viitattu 14.3.2023).