

Ella Rissanen

# 3D-hahmon digitaalinen veistäminen ja optimointi



Tradenomi  
Tietojenkäsittely  
Kevät 2024



KAMK • University  
of Applied Sciences

## Tiivistelmä

**Tekijä(t):** Rissanen Ella

**Työn nimi:** 3D-hahmon digitaalinen veistäminen ja optimointi

**Tutkintonimike:** Tradenomi (AMK), Tietojenkäsittely

**Asiasanat:** 3D, digitaalinen veistäminen, optimointi, peli, hahmo, ZBrush, pelitaide

Opinnäytetyön aiheena oli 3D-hahmon digitaalinen veistäminen ja sen optimointi. Opinnäytetyön teoriaosuudessa tutkittiin hahmonsuunnittelua, ZBrush-veistosohjelmistoa sekä optimointia. Opinnäytetyön aihe kehittyi tekijän kiinnostuksesta digitaalista veistämistä kohtaan ja halusta ottaa ZBrush osaksi kirjoittajan 3D-mallinnusprosessia. Opinnäytetyön tavoitteena oli lisätä tekijän ammatillista kasvua sekä samalla oppia uusia taitoja.

Teoriaosuuden aineisto kertyi pääosin ZBrush-ohjelmiston dokumenteista, nettiartikkeleista sekä YouTube-videoista. Teoriaosuuden alussa pohjustettiin, mitä hahmon suunnittelussa kannattaa ottaa huomioon ja käsiteltiin sen suunnitteluprosessia, minkä jälkeen siirryttiin käsittelemään digitaalista veistämistä. Aihe jaettiin niin, että aloittelijan olisi helppo ymmärtää, mistä digitaalisessa veistämisessä on kyse, minkä jälkeen tarkasteltiin, millainen ZBrush on digitaalisen veistämisen työkaluna sekä tutustuttiin sen hyödyllisiin työkaluihin. Lopuksi käsiteltiin, miksi optimointi on tärkeää ja mitä on otettava huomioon, kun hahmoa halutaan optimoida. Opinnäytetyö sisälsi käytännön projektin, jossa luotiin fantasiahahmo ZBrushissa digitaalisesti veistämällä. Projektissa pyrittiin hyödyntämään teoriaosuudessa käsiteltyjä työkaluja.

Opinnäytetyössä tultiin johtopäätökseen, että ZBrush sisältää useita hyviä työkaluja, jota veistäjät ja perinteinen 3D-mallintaja voivat käyttää. Digitaalisen veistäjän tulisi myös hallita perinteinen 3D-mallintaminen, kun hahmoja luodaan videopelisiin, koska halutaan, että peli toimii sulavasti mahdollisemman usealla laitteella. Tästä syystä optimointi on erityisen tärkeää. Käytännön työstä päästiin johtopäätökseen, että teoriaosuudessa käsitellyt aiheet toimivat käytännössä ja käsiteltyjä työkaluja käyttämällä saadaan luotua laadukas hahmo. Kun aloittelija tottuu ZBrushin käyttöliittymään, on ZBrushin käyttö varsin yksinkertaista.

## **Abstract**

**Author(s):** Rissanen Ella

**Title of the Publication:** Digital Sculpting of a 3D Character And Optimization

**Degree Title:** Bachelor of Business Administration, Business Information Technology

**Keywords:** 3D, digital sculpting, optimization, game, character, ZBrush, game art

The subject of this thesis is digital sculpting of a 3D character and optimization. The thesis is a research about character design in video games, ZBrush sculpting software and optimization. The subject was developed from the author's interest in digital sculpting and the desire to take over ZBrush as part of the author's 3D modeling process. The goal was also to increase the author's professional growth and learn new skills.

The sources used in this thesis were mainly gathered from ZBrush's documents, online articles, and YouTube tutorial videos. At the beginning, the thesis goes through what should be considered when designing a character and the process of designing a character. After that, the thesis introduces ZBrush sculpting software and its useful tools for character sculpting. At the end of the theoretical part, the thesis introduces optimization and goes through why optimization is important when creating video game characters. The theory part is arranged in such a way that it would be easy for a beginner to understand what digital sculpting is. In the end of the thesis, a practical project is included where author created a fantasy character by digitally sculpting in ZBrush. The goal was to utilize the tools presented in the theory section.

It was discovered that ZBrush includes many useful tools that sculptors and poly modelers can use. An artist who creates game characters by sculpting should also know how to optimize characters by poly modeling because optimization is important when creating games. Optimizing characters allows games to run smoothly on many platforms. From the practical work, it was discovered that topics from the theoretical part work in practice. Using the software's tools helps the artist to create a high-quality character. When a beginner gets used to the ZBrush' user interface the usage of the software becomes easier.

## Sisällys

1	Johdanto .....	2
2	Hahmon suunnittelu videopeleissä .....	3
2.1	Konseptointi .....	3
3	Digitaalinen veistäminen .....	6
3.1	Digitaalisen veistämisen prosessi.....	6
3.1.1	Mihin digitaalista veistämistä käytetään? .....	7
3.1.2	Digitaalisen veistämisen ja perinteisen 3D-mallinnuksen erot.....	8
4	ZBrush.....	10
4.1	Käyttöliittymä .....	11
4.2	Siveltimet.....	13
4.3	Blockout primitiivisillä muodoilla ja ZSpherellä .....	16
4.4	DynaMesh.....	20
4.5	ZRemesher.....	21
5	3D-mallien optimoinnin tärkeys .....	26
5.1	Hahmon retopologia .....	27
6	Projekti: Hahmon veistäminen ja optimointi .....	30
6.1	Suunnitelma .....	30
6.2	Veistäminen.....	31
6.3	Optimointi .....	39
6.4	Lopputulokset.....	42
7	Pohdinta .....	44
8	Yhteenveto .....	45
	Lähteet .....	47

## Liitteet

## Symboliluettelo

Beikkaus	3D-mallin informaation tallentaminen tekstuuritiedostoon. Prosessissa käytetään yleensä kahta 3D-mallia. Toisesta 3D-mallista informaatio siirretään toiseen 3D-malliin.
Edge	Reuna. 3D-mallinnuksessa reuna muodostuu kahdesta pisteestä.
High poly	Korkealaatuinen yksityiskohtainen 3D-malli. Sisältää paljon polygoneja.
Loop	Jono reunasilmukoita.
Low poly	Matala-laatuinen 3D-malli, jossa on pieni määrä polygoneja.
Mesh	Polygoneista muodostuva 3D-objekti
Polygon	Polygon muodostuu vähintään kolmesta pisteestä, jotka keskenään muodostavat sulkeutuneen reunajonon.
Renderointi	Prosessi, jossa luodaan 2D-kuva 3D-mallista.
Riggaus	Prosessi, jossa 3D-hahmolle luodaan luuranko. Luurangolla liikutetaan 3D-hahmoa, jonka avulla hahmo animoidaan.
Topologia	Viitataan 3D-mallin pisteiden, reunojen ja pintojen jakautumiseen ja rakenteeseen. Topologia näyttää, kuinka hyvin 3D-mallin pisteet, reunat ja pinnat on järjestetty.
Turnaround	Kuva hahmosta edestä, takaa ja sivusta.
UV-kartta	Tasainen kuvaus 3D-mallin pinnasta.
UV-unwrap	UV-kartan luomisprosessia kutsutaan UV-unwrappaukseksi.

## 1 Johdanto

Opinnäytetyön aihe on 3D-hahmon digitaalinen veistämien ja sen optimointi pelikäyttöön. Tämä valittiin aiheeksi, sillä tekijää kiinnostaa 3D-hahmojen mallintaminen ja haluaa tulevaisuudessa suuntauta hahmograafikoksi. Aiheeksi valittiin digitaalisen veistäminen, sillä aiheesta ei ollut juurikaan aikaisempaa tietoa, mutta digitaalinen veistäminen on kiinnostanut jo pitkään. Opinnäytetyössä keskitytään ZBrushiin, joka on digitaalisen veistämisen ohjelmisto. Työllä ei ole toimeksiantajaa, joten aihe on valittu tekijän ammatillisen kasvun kehittämiseksi sekä uuden taidon oppimiseksi. Aiheeseen on myös valittu oma projekti, jonka tavoitteena on hyödyntää opinnäytetyössä opittuja taitoja.

Opinnäytetyön tavoitteena on luoda kompakti kokonaisuus ZBrushin työkaluista, joita voidaan hyödyntää pelihahmon luomisessa, tutustua, miksi veistetyn hahmon optimointi on tärkeää sekä tutustua hahmon suunnitteluun. Tavoitteena on hyödyntää teoriassa opittuja asioita käytännön projektissa, kehittyä digitaalisessa veistämisessä ja ottaa ZBrush osaksi tekijän omaa 3D-mallinnusprosessia. Tavoitteet saavutetaan rajaamalla aiheen sopivan kokoiseksi, hyödyntämällä internetistä löytyviä lähteitä sekä katsomalla opetusvideoita YouTubesta.

Koska ZBrush sisältää monia erilaisia ominaisuuksia, rajattiin opinnäytetyö siten, että valittiin ne työkalut ohjelmistosta, joita voidaan hyödyntää pelihahmon luomisessa. Opinnäytetyön kohde-ryhmä rajattiin aloitteleviin graafikoihin ja graafikoihin, jotka haluavat ottaa ZBrushin osaksi omaa työprosessiaan. Opinnäytetyöhön valittiin myös perinteisen 3D-mallinnuksen ja digitaalisen veistämisen eroavaisuudet, jotta voidaan verrata, kuinka ne eroavat toisistaan. Rajaukseen kuului myös hahmon suunnittelu videopeleissä sekä optimoinnin tärkeys. Nämäkin rajattiin siten, että aloittelijan olisi helppo ymmärtää.

## 2 Hahmon suunnittelu videopeleissä

Hahmon suunnittelu alkaa siitä, että määritellään, kuinka paljon on aikaa ja millaiset taidot ovat käytössä. Seuraavaksi täytyy määritellä, kenelle hahmo tehdään. Tuleeko hahmo jollekin suurelle yhtiölle pelitarkoitukseen, tulevaan elokuvaan vai onko hahmo tulossa vain henkilökohtaiseen projektiin? Nämä vaikuttavat siihen paljonko aikaa ja taustatutkimusta voidaan hahmoon käyttää. Tähän vaikuttaa myös, kuinka paljon aikaa asiakas antaa työn tekemiseen ja mitä asiakas haluaa. Esimerkiksi haluaako asiakas hahmosta erilaisia asentoja tai turnaroundin? Kaikki tämä vähentää aikaa, jota voidaan käyttää hahmon persoonallisuuden tutkimiseen. [1.]

Tärkeää hahmon suunnittelussa on tyylivalinta. Tyylivalinta myös vaikuttaa hahmoon käytettävään aikaan. Realistiset hahmot vievät yleensä enemmän aikaan, kun taas tyylihahmot vievät vähemmän aikaa. Realistisen hahmon tekemiseen halutaankin yleensä käyttää enemmän aikaa tutkimustyöhön. Hahmoa suunnitellessa tulee määritellä, mitä hahmolla tehdään ja mille alustalle se on tulossa. Onko hahmo esimerkiksi kuvitus, tuleeko se korttiin, onko se tulossa pelihahmoksi videopeliin vai tuleeko se animoituun tv-sarjaan tai elokuvaan? Tämä vaikuttaa muun muassa hahmon suunnittelun lähestymistapaan ja siihen, kuinka yksityiskohtainen ja monimutkainen hahmo voi olla. Jos hahmo tehdään korttiin, ei tarvitse huolehtia, millaiselta hahmo näyttää takaa päin tai huolehtia hahmon turnaroundista, sillä hahmo on vain yhdessä hetkessä yhdessä asennossa. Tällaisessa tapauksessa voidaan hahmosta luoda yksityiskohtaisempi, eikä tarvitse huolehtia liikaa toiminnallisuudesta, kun taas pelihahmon halutaan olevan toiminnallinen ja sille halutaan tehdä turnaround, koska hahmo nähdään useammasta kuvakulmasta. [1.]

Videopelihahmoissa on tärkeää, etteivät vaatteet leikkaannu toisistaan. Pelihahmot ovat ruudulla yleensä pieniä. Siksi hahmon siluetteihin ja muotoihin kannattaa kiinnittää huomiota, että hahmo on luettavissa ja tunnistettavissa. Animaatioissa hahmot ovat yleensä vähemmän yksityiskohtaisia ja yksinkertaisempia kuin peleissä, siksi animoinnissa kannattaa erityisesti kiinnittää huomiota, minkälaisia yksityiskohtia halutaan, sillä kaikki täytyy animoida. [1.]

### 2.1 Konseptointi

Pelin konseptoinnin luominen on prosessi, jossa luodaan kokonaisvisio pelin rekvisiitasta. Pelin luonnin alkuvaiheessa piirretään kuvia pelimaailmasta sekä maailman asukkaista. Vaiheen jälkeen työestetään jokaista kohdetta yksityiskohtaisesti. Merkittävintä prosessissa on hahmojen

suunnittelu. Hahmon konseptitaide on visuaalinen esitys antropomorfisesta olennosta, kuten ihmisestä, eläimestä tai fantasiaolennosta. Konsepti heijastaa hahmon persoonallisuutta ja toiminnan tyyppiä. Hahmokonsepti on kokomittainen kuvitus hahmosta itsestään ja varusteista tarvittavista kuvakulmista. [2.]

Konseptitaiteen prosessissa luodaan erilaisia luonnoksia, piirustuksia ja digitaalisia maalauksia samalla, kun tutkitaan erilaisia visuaalisia suuntia. Pelihahmon konseptia suunnitellessa on otettava seuraavat asiat huomioon: taidettyli, anatomia, siluetti, vaatteet ja asusteet sekä ilmaisu ja turnaround. [2.]

Tyylisuuntaa valitsemalla voidaan kokeilla erilaisia muotoja, malleja sekä kokeilla eri taide tyylejä. Jotta luodaan silmäänpistävä visuaalinen ilme ja täydellinen taidettyli, voidaan kokeilla erilaisia taidettyylejä kuten abstraktista, tyyliteltyä ja realistisista taidettyyliä. [2.]

Hahmon anatomiaan kuuluu kehon ominaisuuksien, luuston, nivelten, lihasrakenteen ja kasvojen anatomian ymmärtäminen ja kuvaaminen. Kun hahmolle suunnitellaan anatomiaa, voidaan kerätä visuaalisia referenssejä ihmisten tai eläinten anatomian muodoista ja tutkia niitä yksityiskohtaisesti. Tutkiskelun aikana on hyvä saada ymmärrys mittasuhteista, analysoida taidettyylejä sekä tutkia hahmon luuston, lihasten ja nivelten visuaalista estetiikkaa. Kun konseptointivaiheessa saavutaan siluetin luomiseen, tulisi määritellä selkeät ja tunnistettavat hahmon ääriviivat ja muodot siluettimuodossa, jotta hahmosta tulee yksityiskohtainen ja tunnistettava. Tässä vaiheessa tulee keskittyä luomaan erottuvia muotoja, siluetin luettavuutta, yksityiskohtia, vaikutusta ja vetovoimaa, tehokasta värien käyttöä ja tarinankerrontaa. Siluetin tulisi olla ainutlaatuinen ja herkästi tunnistettavissa. Sen tulisi välitettävä yleinen rakenne, mittasuhteet ja keskeiset elementit yhdellä silmäyksellä. Pelaajien tulisi tunnistaa hahmo nähtyään hahmon siluetti. [2.]

Hahmon vaatteet ja asusteet ovat tärkein tekijä hahmojen suunnittelussa. Hahmon vaatteilla ja asusteilla tulisi ilmaista pelin kulttuuria ja maantieteellistä sijaintia. Hahmon tulisi sopia pelin ympäristöön eikä sen tulisi näyttää vieraalta ympäristössä. Jos peliympäristö esimerkiksi sijaitsee kaupungilla tai rannalla, tulisi vaatteet ja asusteet suunnitella vastaavasti. Vaatteet, asusteet ja aseet tekevät hahmosta houkuttelevamman ja tunnistettavan. [2.]

Ennen kuin ilmaisujen ja turnaroundin työvaihetta aloitetaan, tulee olla perehtynyt hahmoon ja sen rooliin pelissä. On tärkeää tietää, mitä hahmo tuo tarinaan ja miten hahmo reagoi tiettyihin tilanteisiin, mitkä ovat hahmon tavoitteet ja millainen hahmon mieliala on. Onko hahmo älykäs, nokkela, iloinen, surullinen tai vihainen? Ilmeitä tulee harkita pelin, tarinan ja hahmon yleisen tunnelman ja ilmaisujen mukaisesti. Hahmo tulisi määritellä turnaroundissa ja näyttää se eri

asenoissa. Hahmosta tulisi esittää turnaround, joka on 360-aseteen näkymä hahmosta. Hahmoa voidaan kiertää eri suuntiin ja analysoida miltä se näyttää, kun hahmo kääntyy. [2.]

Hahmoa suunnitellessa voidaan asettaa rajoituksia tai estää hahmoa jollain tavoin. Hahmoa voidaan muun muassa estää suorittamasta jotain tehtäviä, kuten korkeita hyppyjä, heittoja tai jotain muita tehtäviä, jotka saavat hahmon tuntumaan epätäydelliseltä. Rajoitukset auttavat hahmon realistisuudessa ja pitävät hahmon kiinnostavana. [2.]

### 3 Digitaalinen veistäminen

Digitaalinen veistäminen on prosessi, jossa luodaan 3D-malli ”purista ja vedä”-menetelmillä digitaalisen veistämiseen erikoistuneilla ohjelmilla. Aivan kuten tavallinen kuvanveistäjä käsittelee savea, kunnes saa siitä halutun muodon. Digitaalinen veistäjä veistää tietokoneen, hiiren ja virtuaalisen saven kanssa. Samalla tavalla digitaalinen kuvanveistäjä muovaa virtuaalista savea, kunnes siitä on saatu haluttu 3D-objekti. Toisin sanoen luodaan 3D-objekti, mutta veistos on vasta valmis, kun siihen on lisätty väriä ja tekstuureita sekä muita haluttuja ominaisuuksia, kuten riggaus, animaatio ja visuaalisia efektejä. [3.]

Monet digitaaliseen veistämiseen erikoistuneet ohjelmat sallivat graafikon aloittaa digitaalisen veistämisen valmiiseen pohjamalliin tai aloittaa veistäminen tyhjästä. Veistämishohjelmistot käyttävät vaativia laskelmia luodakseen polygon meshin, joka käyttäytyy kuin oikean elämän savi. Digitaalisessa veistämässä toimitaan samalla tavalla kuten oikean elämän veistämässä: veistos aloitetaan yksinkertaisista muodoista, minkä jälkeen voidaan siirtyä veistämään yksityiskohtia lisäämällä polygonien määrää suuremmaksi. Yksi veistetty projekti voi viedä graafikolta muutamista kymmenistä minuuteista useita satoja tunteja. Ajallinen määrä veistoksen tekemiseen kuitenkin riippuu projektin suuruudesta sekä graafikon omista taidoista. [4.]

#### 3.1 Digitaalisen veistämisen prosessi

Digitaalinen veistämisprosessi yleensä aloitetaan yksinkertaisista muodoista, kuten pallosta. Graafikko aloittaa veistämisen manipuloimalla veistoksen geometriaa käyttämällä erilaisia työkaluja kuten työntäminen, vetäminen ja kiertäminen. Graafikko voi halutessaan myös lisätä veistokseen geometriaa. Kun graafikko on saanut perusmuodot luotua ja on tyytyväinen veistoksen siluettiin, veistoksen polygonien määrää voidaan lisätä, jotta voidaan lisätä enemmän yksityiskohtia. Yksityiskohtia ja geometriaa lisätään niin paljon, kun veistokseen tarvitaan ja kuinka realistista veistoksesta pyritään saamaan. [4.]

Digitaalisessa veistämässä voidaan siveltimiä vaihtelemalla luoda erilaisia tekstuureita tarpeiden mukaan. Tekstuurisiveltimillä voidaan luoda yksityiskohtia, realistisia pintoja, mikä lisää lopullisen veistoksen realistisuutta. Digitaalisessa veistämässä objektia manipuloidaan siveltimillä. Perussiveltimet ovat työkaluja, joilla muutetaan objektin muotoa. Perussiveltimiä ovat muun muassa Move-, Inflate-, Smooth- ja Pinch-siveltimet. Näillä siveltimillä voidaan säätää

mittasuhteita ja siluettia. Standard-siveltimet ovat siveltimiä, joilla voidaan lisätä yksityiskohtia ja tekstuuria objektiin. Mukautetut siveltimet antavat mahdollisuuden veistää monipuolisesti. Mukautetuilla siveltimillä voidaan lisätä erilaisia efektejä, kuvioita ja muotoja. Dynaamiset siveltimet ovat siveltimiä, joissa resoluutio on mukautuvaa. Niissä polygoni verkko jakaantuu tai yksinkertaistuu automaattisesti siveltimen vedon ja voimakkuuden mukaan. Dynaamiset siveltimet antavat joustavuutta veistämiseen, jolloin ei tarvitse huolehtia topologiasta ja polygonien määrästä. Dynaamisia siveltimiä voidaan käyttää suurien, että pienien muutosten tekemiseen. [4.] [5.]

Digitaalinen veistäminen käyttää paljon tietokoneen resursseja ja tietokone vaatii huomattavan suuren määrän prosessointivoimaa. Joka kerta kun veistokseen lisätään geometriaa, se hidastaa kykyä prosessoida veistettävää projektia. [4.]

### 3.1.1 Mihin digitaalista veistämistä käytetään?

Digitaalista veistämistä voidaan hyödyntää monenlaiseen käyttötarkoitukseen. Sitä voidaan hyödyntää erilaisissa liiketoiminnoissa. Liiketoiminnasta ja liikealasta riippuen 3D-mallien käyttö eroaa toisistaan. Liiketoimintoja, joissa hyödynnetään 3D veistämistä, ovat muun muassa peli-, elokuva-, 3D-tulostus-, mainostus- ja tuotteen suunnittelu alat. [6.]

Digitaalinen veistäminen sopii täydellisesti peliobjektien tekemiseen. Pelialalla hahmot, olennot, kasvillisuus ja muut tarvikkeet ovat usein veistetty. Pelejä ei yleensä ole mahdollista esirendäroidä. Siksi graafikoiden täytyy työskennellä malleilla, jotka on muodostettu matalaresoluutioidena. Siksi malliin mahtuu vain rajoitettu määrä polygoneja. Kun halutaan luoda tarkka malli, käytetään digitaalista veistämistä hyödyksi. Polygonien määrää voidaan vähentää säilyttämällä kuitenkin mallin laatu samana. [3.] [6.]

Elokuva-alalla on nykypäivänä haasteellista tehdä vaikutus yleisöön, jolloin on tarve luoda mukaansatempaava elokuva. Siksi elokuvissa käytettyjen 3D-hahmojen pitäisi näyttää realistisilta ja todenmukaisilta. On haasteellista saada ihmiset uskomaan, mitä he näkevät ruudullaan. Se voidaan ratkaista käyttämällä digitaalisen veistämisen avulla käytettyjä 3D-malleja. [6.]

3D-tulostus vaatii korkeinta mahdollista tarkkuutta, joten digitaalinen veistäminen on väistämättä tässä tapauksessa. Monimutkaisten esineiden, kuten ihmisen sisäelimien, monimutkaisten järjestelmien tai lasten lelujen tulostamiseen tarvitaan paljon yksityiskohtia. Pienetkin puutteet

voivat pilata itse esineen perustarkoituksen, minkä vuoksi digitaalinen veistäminen on tärkeää. [6.]

Mainostusalalla 3D-mallit ovat edullinen tapa vangita asiakkaiden huomio ja vaikuttaa heihin. Ei väliä, kuinka monimutkainen konsepti on, se voidaan esittää täydellisesti 3D-suunnittelutekniikoiden avulla. Tuotteen suunnittelussa digitaalisella veistämällä on merkittävä rooli tuotesuunnittelussa. Yksityiskohtaisen näkökohtien lisäksi voidaan hyödyntää saumattomasti luomalla epätavallisia malleja ja muotoja digitaalisten veistustyökalujen avulla. [6.]

### 3.1.2 Digitaalisen veistämisen ja perinteisen 3D-mallinnuksen erot

Pintapuolisesti digitaalinen veistäminen ja perinteinen 3D-mallinnus voivat vaikuttaa samanlaisilta. Molemmat ovat luomuksia digitaalisesta meshistä eli sarjoista yhdistettyjä polygoneja. Siihen kuitenkin samanlaisuus loppuu. Perinteinen 3D-mallinnus keskittyy linjojen ja kulmien lisäämiseen, siirtämiseen ja muokkaamiseen. 3D-mallinnus edellyttää geometrisen muotojen ja yhdenmukaisuuden noudattamista, kun taas digitaalinen veistäminen on joustavampaa. Perinteinen 3D-mallinnuksella ja digitaalisella veistämällä on omat käyttötarkoituksensa. Kumpikaan ei ole toistaan parempi. [3.] [7.]

Digitaalisessa veistämässä erotellaan suunnitteluosa ja topologiaosuus toisistaan. Veistämässä ensimmäisenä täytyy tehdä selväksi, että mallin visuaalinen ilme on hyvä ja olla varma, että mallin muodot ovat sellaiset kuin niiden halutaan olevan. Lopuksi parannetaan mallin topologiaa. Perinteisessä 3D-mallinnuksessa kaikkia vaiheita tehdään samaan aikaan, kun taas digitaalisessa veistämässä tehdään vaiheittain. Hahmon mallinnuksessa tämä esimerkiksi ilmenee siten, että perinteisessä 3D-mallinnuksessa blokkauvaihe ja hahmon perusmuodon luominen tehdään samaan aikaan, kun hahmolle pyritään luomaan hyvää topologiaa. Perinteinen 3D-mallintaminen ei ole optimaalisin ratkaisu hahmon luomiseen, sillä sinä joudutaan koko ajan hiomaan topologiaa. Kun geometriaa lisätään, itse geometrian muotoa hiotaan halutuksi skaalaus- ja liikuttamistyökaluilla. Perinteisessä 3D-mallinnuksessa haasteellisinta on muotojen hiominen, sillä se on mekaaninen prosessi, minkä takia perinteinen 3D-mallinnus sopii paremmin kovapintaiseen mallinnukseen. [7.]

Veistäminen aloitetaan muodon näkökulmasta. Veistämässä kiinnitetään enemmän huomiota mallin muotoihin eikä niinkään sen topologiaan. Siksi veistäminen on taiteellisempi tapa

työskennellä, sillä hahmon luomisprosessissa ajatellaan tunnetasolla, millainen hahmo on. Kun veistämisen työkalut tulivat suosituiksi, hahmot peleissä ja elokuvissa tulivat paremman näköisiksi, sillä nykyään on mahdollista keskittyä hahmon olemukseen eikä samaan aikaan tarvitse huolehtia teknisistä asioista. Veistämisessä hahmon visuaalinen ilme tehdään ensin, minkä jälkeen vasta tarvitsee huolehtia topologiasta. Perinteisessä 3D-mallinnuksessa näistä asioista täytyy huolehtia samanaikaisesti koko luomisprosessin ajan. [7.]

#### 4 ZBrush

ZBrush on digitaalisen veistämiseen tarkoitettu ohjelmisto. ZBrushia käytetään luomaan korkearesoluutioisia 3D-malleja eli high poly -malleja. Sillä pystytään saavuttamaan jopa yli 40 miljoonaa polygonia. ZBrushia käytetään muun muassa peli- ja elokuvateollisuudessa, sillä se on alan standardi työkalu. Veistämisen lisäksi ZBrush soveltuu 3D-mallien teksturoimiseen ja maalaamiseen. Ominaista ZBrushille on myös renderöinti mahdollisuudet. [8.] [9.] Kuvassa 1 digitaalisesti veistetty hahmo ZBrushilla.

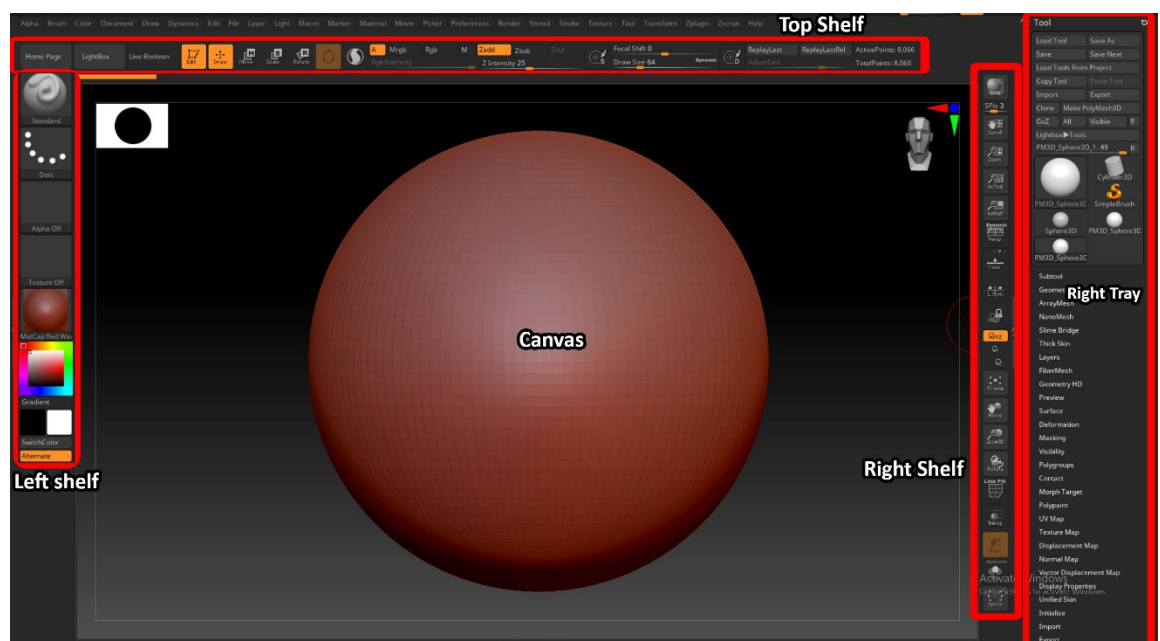


Kuva 1. ZBrush-veistosohjelmistolla luotu hahmo.

ZBrush on päätenyt alan standardiksi, sillä se on tehokas ja monipuolinen työkalu. ZBrush sisältää ison kirjaston digitaalisen veistämisen siveltimeä ja materiaaleja. Tämän lisäksi ZBrushilla voidaan lisätä ja vähentää topologiaa ilman, että se vaikuttaa veistettävän mallin muotoon tai laatuun. Koska ZBrush on digitaalisen veistämisen työkalu, sillä voidaan luoda korkearesoluutioisia ja korkealaatuisia malleja pienessä ajassa, koska se sisältää työkaluja, jotka nopeuttavat veistämisprosessia. [10.] [11.]

## 4.1 Käyttöliittymä

ZBrush voi olla sovellusta ensimmäistä kertaa käyttävälle olla hämmentävä, sillä ZBrushin käyttöliittymä on erilainen tyypillisiin 3D-sovellusten käyttöliittymiin verrattuna. Kuvan 2 keskiosan canvas on piirtoalue. Piirtoalue on käyttöliittymän suurin alue. Se on alue, jossa veistäminen tapahtuu. Piirtoalueen taustaväri on liukuväri mustasta harmaaseen, joka viittaa syvyyteen. Piirtoalueelle muodostettua teosta kutsutaan ZBrush-dokumentiksi. Digitaalista veistosta kankaalla kutsutaan meshiksi. Kun työ tallennetaan ZProject-formaattiin, ZBrush tallentaa työn sen hetkisen tilan, valaistuksen ja materiaalit sekä muut elementit. Kun seuraavan kerran avataan ZProject-tiedosto, voidaan jatkaa juuri siitä, johon aikaisemmin on jääty. [12, s. 20–22.]



Kuva 2. ZBrushin käyttöliittymä.

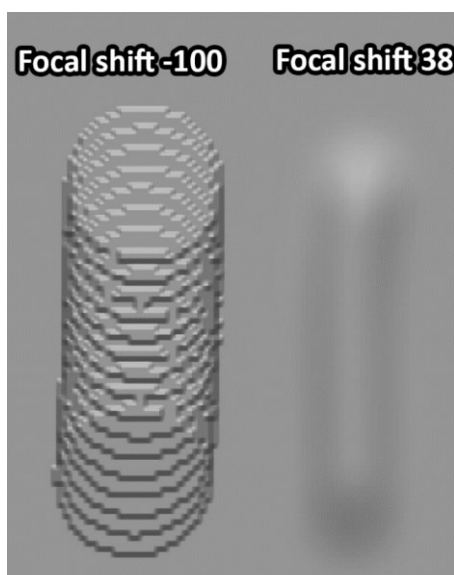
Piirtoalueen oikealla, vasemmalla puolella sekä yläpuolella punaisella rajattuja alueita kutsutaan hyllyiksi. Hyllyt sisältävät hallintalaitteet ja näppäimet, jota käytetään ZBrushissa työskennellessä. Vasen hylly koostuu siveltimistä, siveltimen vedon tyypistä, alphasta, tekstuurista, materiaali varjostimesta ja värivalinnasta. Pikakuvakkeita klikkaamalla avautuu jokaisen oma valikko. Siveltimet, alphas, tekstuurit ja materiaalit latautuvat aina, kun ZBrush avataan. [12, s. 25.]

Oikeassa hyllyssä sijaitsevat säätimet, jotka auttavat navigoimaan piirtoalueella. Niitä ovat vieritys, zoomaus, actual-työkalut. Työkaluille on kuitenkin näppäimistön pikapainikkeet, joka on nopeampi tapa navigoinnissa. Perspektiivi-työkalu auttaa graafikkoa työskentelemään, kun graafikko käyttää referenssi kuvaa, jossa on perspektiivi. Se myös auttaa ihmisen kasvojen

veistämisessä. Työkalua käyttäessä päälle ja pois voidaan huomata, onko kasvoissa puutetta. L.Sym-painike veistää symmetrisesti mallin toiselle puolelle. Poly F-painike näyttää mallin topologian. [13.] [12, s. 36–37, s.39, s.40.]

Oikean hyllyn vieressä sijaitsee oikea lokero. Oikeassa lokerossa sijaitsevat tärkeimmät työkalut, joita graafikko käyttää päivittäisessä veistämässään. Niistä käytetyimmät ovat geometrian lisääminen ja vähentäminen sekä retopologia. [13.] Oikean hyllyn työkaluja tullaan syventymään tarkemmin opinnäytetyössä myöhemmin.

Ylähyllyssä sijaitsee edit- ja draw-tila. Kun edit-tila on käytössä, veistettävää objektia voidaan liikuttaa, skaalata ja kiertää. Kun edit- ja draw-tilat ovat yhtä aikaa käytössä, silloin voidaan veistää objektia siveltimiä käyttäen. Mrgb-, Rgb- ja M-näppäimet viittaavat materiaaleihin maalaustilassa. M-kirjain viittaa materiaaliin ja Rgb tarkoittaa punaista, vihreää ja sinistä, joka siis tarkoittaa väriä. Maalattessa voidaan näillä valikoilla päättää, halutaanko maalata materiaalia ja väriä samaan aikaan tai vain toista. Intensity-liukusäädin tarkoittaa, kuinka intensiivinen käytössä oleva sivellin on. Draw size -liukusäätimellä voidaan säätää, kuinka suuri sivellin on. Focal Shift -liukusäätimellä voidaan vaikuttaa, kuinka pehmeät tai terävät reunat siveltimen veto jättää. Kuvassa 3 nähdään Focal Shift -liukusäätimen arvojen ero. Kun lukema on negatiivinen, siveltimen veto on karkeampi. Jos arvo on positiivinen, siveltimen veto on pehmeä. Active Points ja total points tarkoittavat, kuinka paljon vesitettävässä objektissa on polygoneja. [12, s. 31, s.36] [13.]



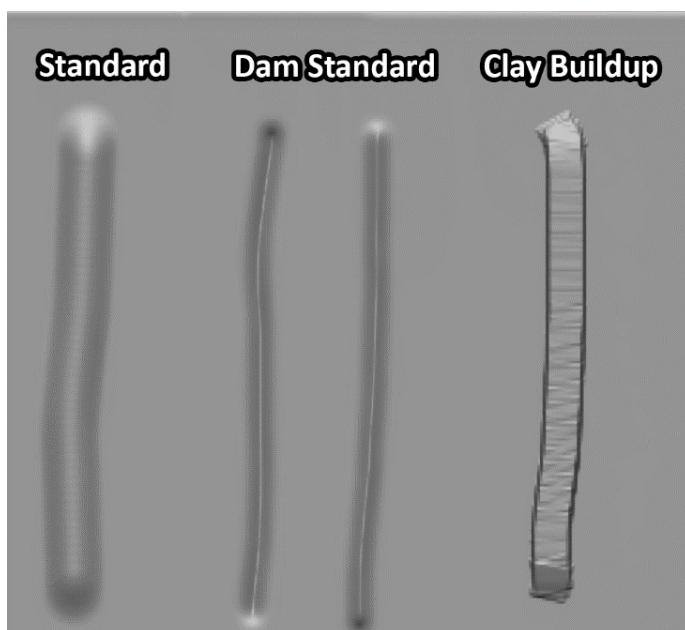
Kuva 3. Focal Shift -arvojen ero. Siveltimen koko on molemmissa sama. Kun Focal Shift -arvo on negatiivinen se jättää karkeamman jäljen, kun taas positiivinen arvo jättää pehmeämmän jäljen. [12, s. 36.]

## 4.2 Siveltimet

ZBrush-veistosohjelmisto sisältää oletuksena monia erilaisia siveltimiä. Vaikka siveltimiä on paljon, kaikkia ei kuitenkaan tarvitse käyttää. ZBrush-siveltimistä hyödyllisimmät siveltimet ovat Move -, Standard -, Dam Standard -, Clay BuildUp -, Smooth -, ja Trim Dynamic -siveltimet. [14.]

Move-sivellin on hyvä sivellin, kun halutaan vaihtaa muotoa nopeasti. Sivellin toimii siten, että muotoa raahataan hiirellä tai kynällä siihen suuntaan, miten muoto halutaan esiintyvän. Hahmon mallinnuksessa Move-siveltimellä saadaan helposti muokattua hahmon kasvojen piirteitä. [14.] [15.]

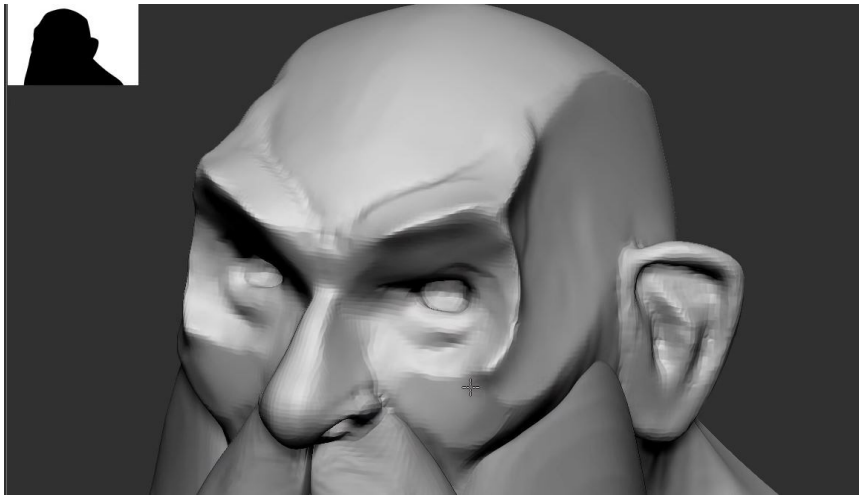
Standard-siveltimellä voidaan tehdä rypyistä isompia ja antaa rypyille volyymiä rikkomatta yksityiskohtia toisin kuin monet muut siveltimet, jotka rikkovat yksityiskohtia ja korvaavat vanhan uudella siveltimellä. Standard-sivellin sopii myös alpojen käyttöön, jolla voidaan luoda tekstuuria hahmon ihoon, kuten ihohuokosia ja rypyjä. Kuvassa 4 nähdään Standard-sivellin ensimmäisenä vasemmalla. [14.] [15.]



Kuva 4 Standard-, Dam Standard- ja Clay BuildUp-siveltimien jättämä jälki.

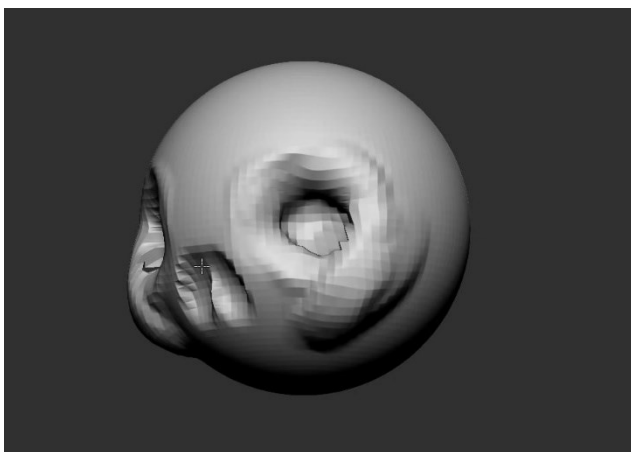
Dam standardin sopii parhaiten, kun sitä käytetään veistämisen aikaisessa vaiheessa, silloin kun veistokseen halutaan terävyyttä. Kuvassa 5 nähdään, kuinka silmien ympärille Dam standard -siveltimellä on luotu terävät reunat hahmon silmien ja kulmien alueelle. Dam standard -sivellin

sopii parhaiten veistoksen viimeistelyyn sekä veistoksen aikaisessa vaiheessa terävien muotojen luomiseen. [14.]



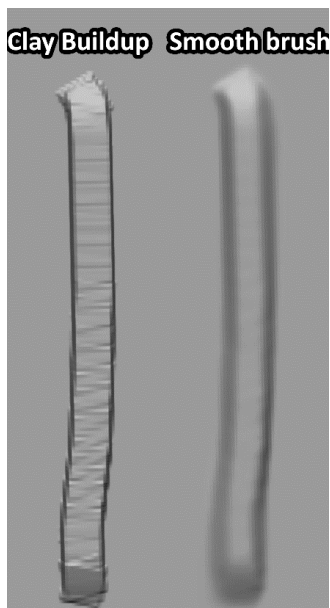
Kuva 5. Dam Standard -siveltimellä luotu teräviä reunoja hahmon luonnin aikaisessa vaiheessa. [14]

Clay BuildUp -siveltimessä itsessään on tekstuuria. Sivellintä voidaan myös käyttää ilman tekstuuria, jolloin sivellin luo erittäin pehmeää jälkeä. Siveltimen alphan muuttaminen pehmeäksi nopeuttaa veistämisprosessia, sillä työskentelyn aikana ei tarvitse koko ajan vaihdella Clay BuildUpin ja Smooth-siveltimen välillä. Sivellintä yleensä käytetään veistämisen alussa. Sillä voidaan alkaa luonnostelevaan esimerkiksi hahmon kasvoja. Sivellin sopii kaivertamiseen, sillä voidaan esimerkiksi luoda hahmolle silmäkuopat ja sieraimet. Tämän lisäksi sivellintä käytetään koko veistämisprosessin aikana. Siveltimen ideaalein käyttötapa on ennen, kuin veistokseen lisätään yksityiskohdita, sillä sivellin tuhoaa alla olevan yksityiskohdan. Kuvassa 6 esimerkki silmien kaivertamisesta. [14.]



Kuva 6. Clay BuildUp -siveltimellä silmäkuoppien ja nenän luonnostelu. [14]

Smooth-sivellin tasoittaa ja pehmentää. Smooth-sivellin tuhoaa karkeat muodot, jolloin kannattaa olla tarkkana, kun sitä halutaan käyttää riippuen, kuinka pehmeää tai karkeaa jälkeä ollaan tavoittelemassa. Kun veistoksiin lisätään volyyymia normaalilla siveltimellä, Smooth-siveltimellä lisätty volyyymi ikään kuin yhdistetään osaksi veistosta. [14.] Kuvassa 7 on esimerkki, miltä näyttää Clay BuildUp-sivellin, kun siihen on käytetty Smooth-sivellintä.



Kuva 7. Clay BuildUp -sivellin ja Smooth-sivellin.

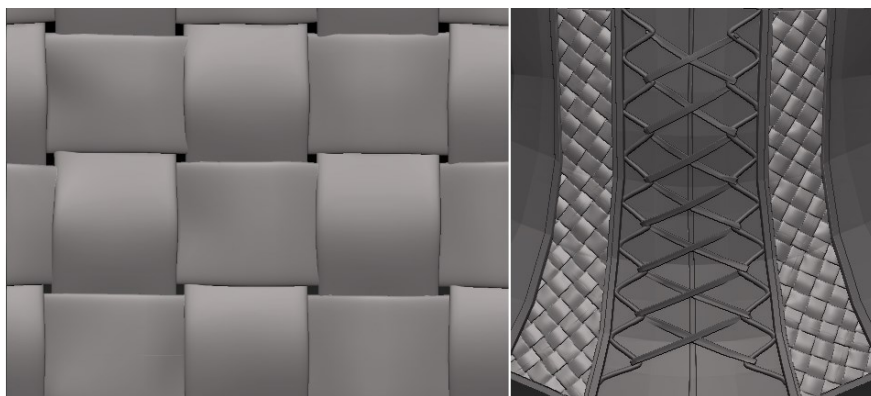
Trim Dynamic -sivellin tekee tasaisen pohjan. Se luo puhtaita muotoja. Trim Dynamic -sivellin auttaa muotojen suunnittelussa ja siksi sitä käytetäänkin veistämisen alkuvaiheessa. [14.] Kuvassa 8 nähdään Trim Dynamic -siveltimen luomat tasaiset muodot.



Kuva 8. Trim Dynamic -sivellintä käytetty kasvojen suunnittelun apuna. [16]

Se kuinka kovia tai pehmeitä muotoja halutaan, voidaan muokata siveltimen intensiivisyys liuskäätimestä. Mitä matalimmalla intensiivisyys on, sitä vähemmän se tekee tasaisempaa jälkeä. [14.]

Alphat ovat harmaansävyisiä intensiivisyyskarttoja. Alphat muuttavat veistoksen pinnan korkeutta positiiviseen tai negatiiviseen suuntaan. Harmaasävykartat ovat 2D-kuvia ja niitä voidaan luoda sekä muokata missä tahansa kuvanmuokkauseditorissa. Alfoja voidaan käyttää 3D-veistoksissa vaikuttamaan 3D-mallien geometriaan. Alfoja on hyvä käyttää muun muassa ihon yksityiskohdissa, kuten juonteissa, rypyissä, ihohuokosissa ja arvissa. [17.] [18.] [19.] Kuvassa 9 luotu harmaasävykartta, jota on käytetty hahmon vaatteeseen tuomaan tekstuuria.



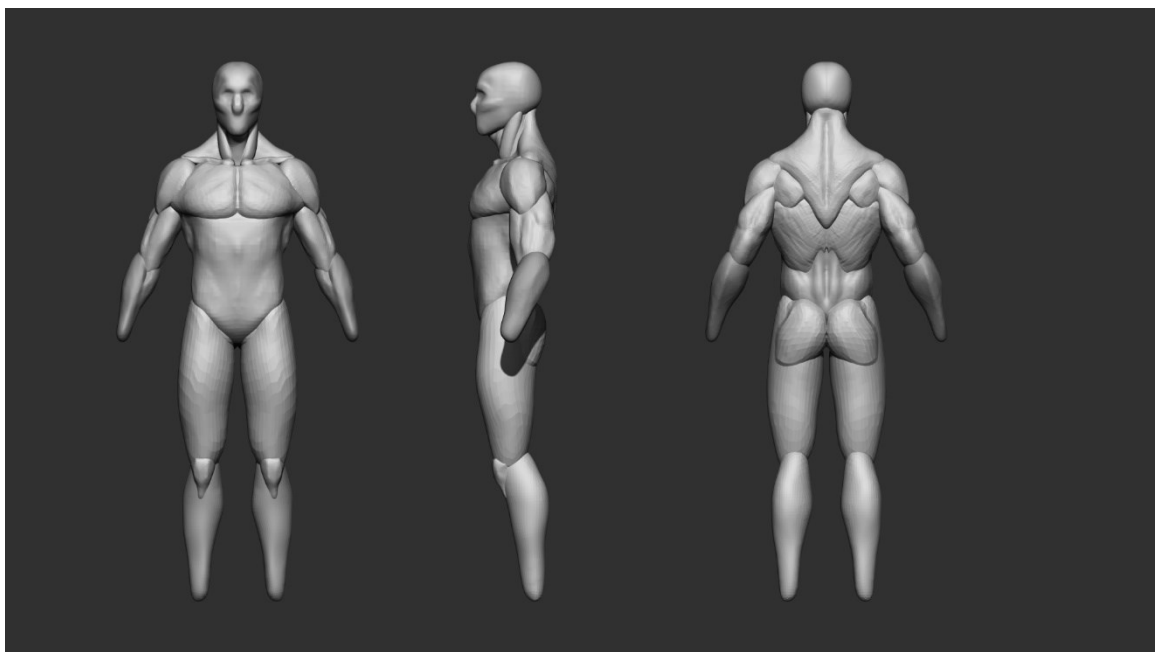
Kuva 9. Alphalla luotu tekstuuri vaatteeseen.

#### 4.3 Blockout primitiivisillä muodoilla ja ZSpherellä

Blockout on ensimmäinen vaihe, josta hahmon veistäminen aloitetaan. Se on vaihe, jossa luodaan hahmon perusta. Se on tärkein osa hahmon veistämisessä, koska se on perusta, jonka päälle hahmoa rakennetaan. Mitä paremmin blockout-vaiheen on tehnyt, sitä helpompi siihen on luoda yksityiskohtia ja luoda tekstuureita. [20.] Blockout-tapoja on useita, kuten käyttämällä primitiivisiä muotoja tai käyttämällä ZBrushin ZSphere-työkalua.

Blockoutin primitiivisillä muodoilla tarkoitetaan sitä, että hahmon perusmuodot luodaan käyttämällä yksinkertaisia muotoja, kuten palloja ja kuutioita, joilla pyritään esittämään eri osia hahmon

vartalosta. Primitiivisiä objekteja voidaan vetää, työntää ja asetella, jotta saadaan hahmon blockout näyttämään lähelle konseptia. Blockout-vaiheessa voidaan pitää primitiiviset osat erillään, eikä kaikkea tarvitse heti yhdistää, sillä niitä on helpompi muokata, silloin kun ne ovat vielä omia objektejaan. Kun blockout on sellaisessa vaiheessa, että hahmon päämuodot on luotu, voidaan alkaa yhdistämään suurimpia osia toisiinsa. Käsien osat voidaan liittää toisiinsa. Samoin pää, torso sekä jalkojen osat voidaan liittää kiinni niin, että saadaan kaikille raajoille oma ryhmä luotua. Tämän jälkeen osia pyritään sulauttamaan toisiinsa sekä jatketaan hahmon hiomista luonnollisempaan suuntaan. [20.] [21.] Kuvassa 10 nähdään hahmo blockout-vaiheessa. Huomataan, että hahmon eri ruumiinosat on luotu erillisiksi objekteiksi ja niissä ei ole paljoa yksityiskohtia.



Kuva 10. Hahmo blockout-vaiheessa. [22]

ZBrushissa on vakiosiveltimenä IMM Primitives-sivellin, jonka avulla voidaan luoda nopeasti uusia primitiivisiä objekteja piirtoalueelle. Sivellin luo jokaisesta lisäystä objektista polygon-ryhmänsä. [21.]

ZSphere on ZBrushin oma työkalu, joka mahdollistaa 3D-mallin luonnostelun nopeasti ja helposti. ZSphere sopii erityisesti orgaanisten mallien luonnosteluun. Kun malli on luonnosteltu ZSphereillä sille voidaan luoda ”iho”, jota voidaan veistää lisää. Kuvassa 11 esimerkki ZSphereillä luotu eläin. Yläpuolella luonnos ennen ihon luomista. Alapuolella eläimelle luotu veistettävä iho, jossa on topologia. [23.]



Kuva 11. ZSpherellä luonnosteltu eläin. Alapuoletta luotu veistettävä iho. [23]

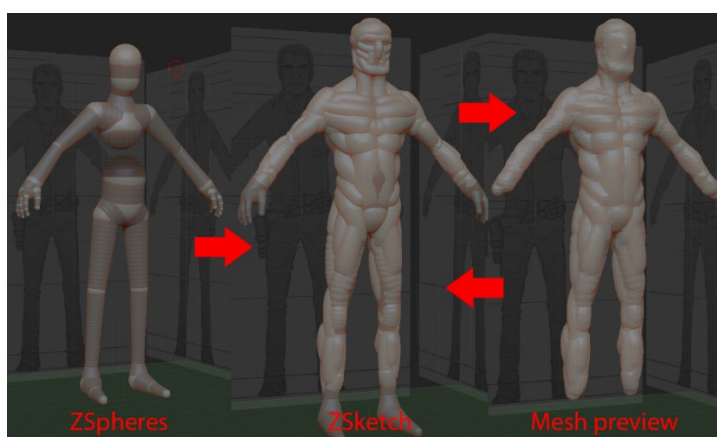
Jotta voidaan luoda ZSphere 3D-malli, täytyy valita ZSphere Tool-valikosta. ZSpheren tunnistaa kaksisävyisestä punaisesta pallosta. Palloa voidaan muokata edit-tilassa. Edit-tilaan päästään painamalla näppäimistön T-kirjainta. ZSphere on kaksisävyinen, jotta on selvää, kumpi suunta on ylöspäin ja kumpi alaspäin. Ensimmäinen ZSphere on 3D-mallin juuri, jolla ei ole geometriaa. Juuri voidaan vain poistaa silloin, kun juureen on kiinnitetty molempiin päihin ZSpheret. Juuri voidaan vasta tämän jälkeen katkaista. [24.]

ZSpherejä voidaan lisätä piirtotilassa painamalla näppäimistön Q-näppäintä. Uusia ZSpherejä voidaan kiinnittää juureen klikkaamalla juurta ja hiirtä vetämällä sen kokoiseksi, kuin ZSpheren halutaan olevan. CTRL-näppäintä pohjaan painamalla voidaan piirtää lisää osia vetämällä pois päin juuresta. A-näppäintä painamalla voidaan esikatsella mallin topologiaa. Kuvassa 12 on luotu juuri ZSpherestä, johon on lisätty lisää ZSpherejä. ZSpherejen muotoja saadaan muokattua erilaisiin asentoihin ja eri kokoiseksi move- ja scale -työkaluilla. [24.]



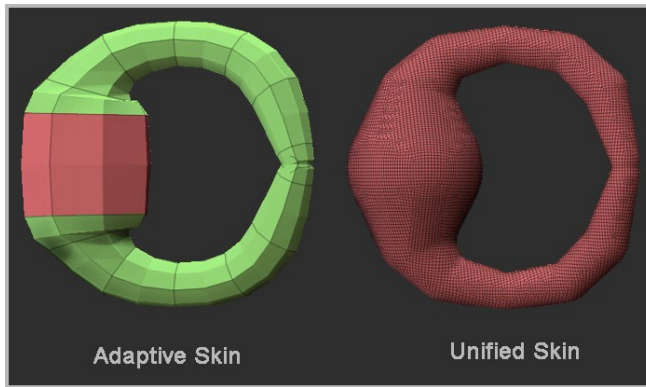
Kuva 12. ZSphere. Alin pallo on ZSpheren juuri, josta on lähdetty vetämään lisää ZSpherejä luomaan muotoa. [24]

ZSketch on työkalu, joka antaa vapaasti piirtää ZSpherejä ZSphere-ketjun päälle. Kun ZSphereillä on luotu esimerkiksi yksinkertainen hahmo, ZSketch-työkalulla voi vapaasti piirtämällä luoda hahmolle lihaksia. ZSketch-työkalua voi myös käyttää itsenäisesti. Jotta ZSketchiä voidaan käyttää itsenäisesti, täytyy vain luoda yksi ZSphere, josta alkaa piirtämään ZSketch-työkalulla. ZSphere voidaan tämän jälkeen poistaa. Tämän jälkeen ZSketch-työkalulla voidaan jatkaa esimerkiksi hahmon suunnittelua. [25.] [26.] Kuvassa 13 nähdään vaiheittain, kun ZSphereillä on luotu perusmalli hahmosta, jonka jälkeen hahmon ZSphere-ketjun päälle ZSketch -työkalulla on luotu lihaksia.



Kuva 13. ZSphere-ketjun päälle luotu ZSketch-työkalulla lihaksia. [27]

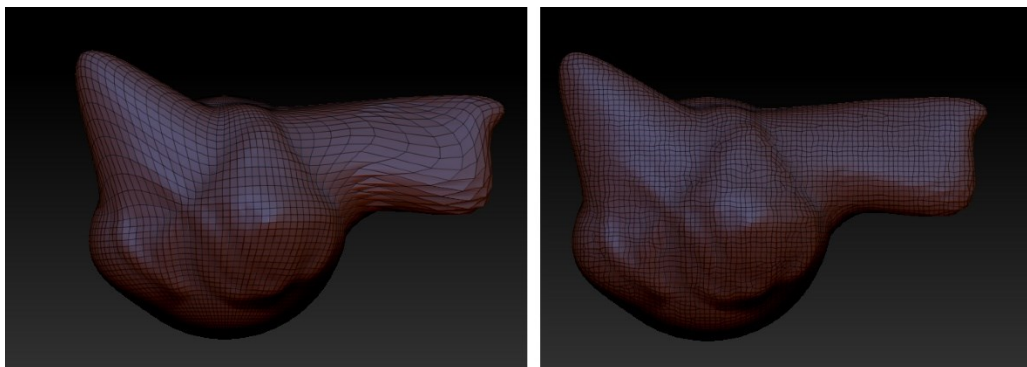
Adaptive skin on yksi kahdesta tavasta lisätä ZSpherelle veistettävä iho. Adaptive skin analysoi mallin rakenteen ja luo mallista matalaresoluutioisen version, jota voi veistää. ZSphereä käsitellään kuutioina ja suorakulmioina. Adaptive skin -asetuksista voidaan Density-säätimellä säätää, kuinka tiheästi silmukoita malliin halutaan. Adaptive skin on yleisimmin käytetty tyyli luoda ZSphereista veistettävä versio, koska sillä voidaan hyvin kontrolloida lopullista topologiaa. Unified Skinning on toinen tapa luoda ZSpherelle veistettävä iho. Se luo mallin yhdistämällä kaikki ZSphet yhteen ja luo mallista yleensä korkearesoluutioisen mallin. Asetuksilla voidaan kontrolloida, kuinka tiheästi malli seuraa ZSpherejen ääri viivoja, pehmeyttä ja mallin lopullista tiheyttä. Unified Skinning sopii veistoksiin, joita ei tarvitse kontrolloida paljoa. Unified skin sopii myös prototyypiksi myöhemmille malleille. Kuvassa 14 nähdään, millaiset tulokset Adaptive Skin ja Unified Skin luo mallista. [28.] [26.]



Kuva 14 Adaptive Skin ja Unified skin eroavaisuus. Adaptive skin luo mallista yleensä matalaresoluutioisen mallin, kun taas Unified skin luo korkearesoluutioisen mallin. [28]

#### 4.4 DynaMesh

DynaMesh on ZBrushin työkalu, joka generoi topologiaa. Se on hyvä ratkaisu vapaamuotoiseen veistämiseen, koska sen ansiosta se poistaa topologiaan liittyvät rajoitukset. DynaMesh on luotu matala- ja keskiresoluutioveistämisvaiheeseen. DynaMesh auttaa pohjamallin luomisessa, ennen kuin aloittaa veistämisen ZBrushin perinteisillä veistos- ja muokkaustyökaluilla. DynaMesh -työkalu mahdollistaa minkä tahansa muodon muokkaamista vetämällä ja työntämällä. DynaMeshin avulla voidaan liittää ja poistaa monia erilaisia osia yhdeksi osaksi. Matalaresoluutioisessa veistämässä polygonit venyvät ja vääristyvät vaikeuttaen veistämisen jatkamista eteenpäin. Kuvassa 15 vasemmalla nähdään, kuinka matalaresoluutioista mallia on muokattu. Sen polygonit ovat venyneet ja särkevät mallin. Mallin veistämistä on vaikea jatkaa, sillä malli rikkoutuu, koska topologiaa ei ole riittävästi. Kun malliin käytetään DynaMesh-työkalua, se luo yhtenäisen topologian koko mallin ympärille. Kuten kuvan 15 oikealla puolella nähdään uusi topologia, jonka DynaMesh on sille luonut. [29] [30.] [31.]



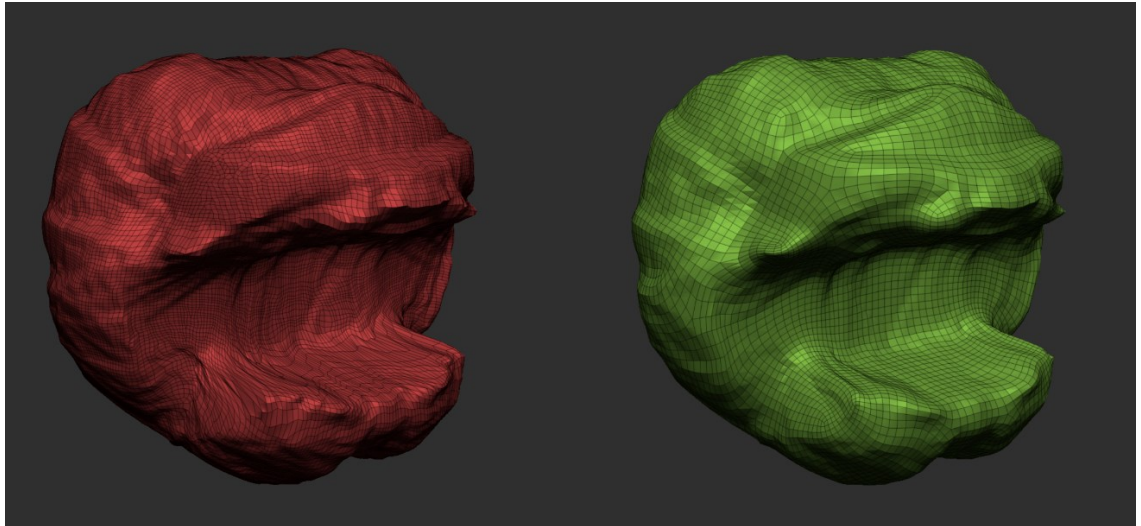
Kuva 15. Vasemmalla puolella malli, jossa topologia on venynyt ja särkynyt veistäessä. Oikealla puolella mallin topologia, on tasainen DynaMeshin jälkeen. DynaMesh säilyttää mallin muodon. [30]

Kun DynaMesh on päällä, voidaan veistää millä tahansa ZBrushin siveltimillä. Kun geometriaa lisätään siveltimillä se voi johtaa siihen, että polygonit eivät riitä ja ne vääristyvät, kun veistokseen tehdään merkittäviä muutoksia mallin perusmuotoon. Tällaisissa tapauksissa DynaMesh tulee apuun, kun painetaan näppäimistön CTRL-näppäin pohjaan ja hiirtä raahataan vapaasta piirtoalueen reunasta, minkä jälkeen päästetään näppäimistöstä ja hiirellä irti. DynaMesh generoi mallille uuden topologian, josta on helppo jatkaa mallin veistämistä. Mallille voidaan veistämisen aikana generoida uusi topologia niin monta kertaa, kuin itse haluaa. [29.]

DynaMesh-työkalu sisältää erilaisia asetuksia, joilla voidaan optimoida DynaMeshia pidemmälle resoluutio-, groups-, project-, blur-, ja polish-asetuksilla. Resoluutio-liukusäätimellä voidaan arvoilla valita, kuinka tiheään DynaMesh generoi polygoneja. Matala arvo luo matalaresoluutioisen mallin matalalla polygonimäärällä. Korkea arvo luo korkearesoluutioisen mallin ja se säilyttää enemmän yksityiskohtia, mutta se vaatii korkean polygonimäärän. Groups-asetus säilyttää eri polygroupit erillään toisistaan. Kun Group-valikkoa ei olla valittu DynaMesh sulauttaa groupit yhdeksi groupiksi. Kun Project-asetus on käytössä, mallin nykyiset tiedot projisoidaan automaattisesti DynaMeshiin. Tämä on hyödyllistä, kun olemassa oleva yksityiskohtainen malli halutaan muuntaa yksityiskohtineen DynaMesh-muotoon. Project-asetus säilyttää mallin terävät reunat. Blur-asetus lisää tasoitustehosteen DynaMeshiin, kun project-asetus on käytössä. Pieni arvo lisää vain pienen määrän sileyttä, kun taas suuri arvo tasoittaa kaikki mallin tärkeimmät yksityiskohdat. Kun Polish-asetus on käytössä, se tasoittaa mallin terävät kulmat. Se myös käyttää, joka kerta erilaista ClayPolish-asetusta, kun DynaMesh päivitetään. [29.] [30.] [32.] [33.]

#### 4.5 ZRemesher

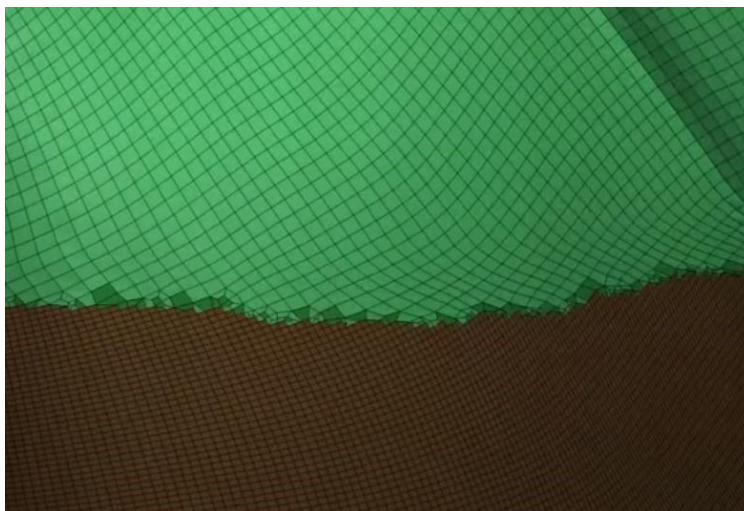
ZRemesher on työkalu, joka luo 3D-mallille uuden polygon-rakenteen. ZRemesherin avulla saadaan muutamassa sekunnissa muutettua 200 000 polygonin DynaMesh-malli 10 000 polygonin retopoloiduksi malliksi, jolla on luonnollinen topologia. [34.] Kuvassa 16 ZRemesherin vakioasetuksilla luotu puhtaampi topologia.



Kuva 16. ZRemesherin vakioasetuksilla tehty retopologia. [35]

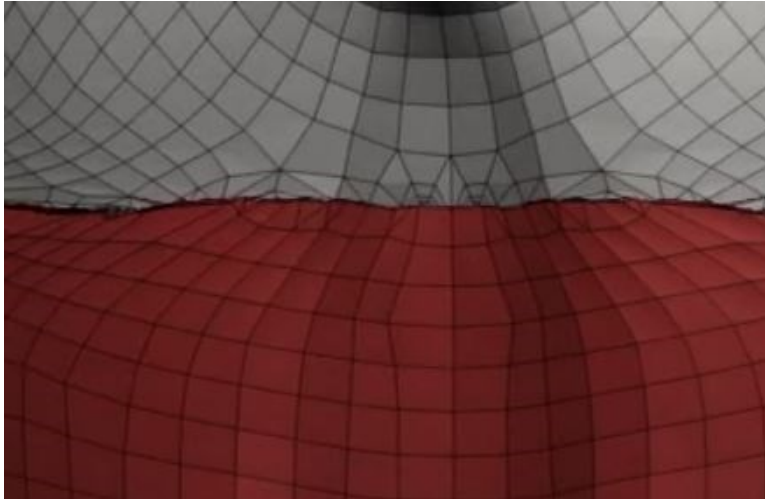
Koska ZRemesher on täysin automaattinen, se antaa hyviä tuloksia useimpiin tarpeisiin, mutta joskus tarvitsee hallita sitä, kuinka ZRemesher luo uuden topologian 3D-mallille. Tähän tarkoitukseen ZRemesherillä on erilaisia asetuksia, joilla kullakin saadaan luotua erilaisia tuloksia tiettyihin tarkoituksiin. Niitä ovat muun muassa Freeze Border, Freeze Group, Target polygon count, adaptive size, curve strength, ZRemesher guides ja use polypaint. [34.] [36.]

Freeze Border -asetuksen avulla voidaan eristää valikoitu alue, jolle luodaan oma polyryhmä. ZRemesh vaikuttaa vain valittuun alueeseen ja jättää muun alueen muuttumattomana. Kuvassa 17 nähdään, kuinka vihreä alueella on harvakseltaan polygoneja, toisin kuin ruskealla alueella, joka säilyi muuttumattomana. [37.]



Kuva 17. Freeze Border -asetuksen tulos, kun valittu vihreä alue on retopologisoitu. Ruskea alue jäi muuttumattomaksi. [37]

Freeze Groups-asetuksen tarkoitus on retopologisoida eri polyryhmiä mallista ilman, että topologia vaikuttaa polyryhmien välisiin reunoihin. Freeze Groups pyrkii pitämään ryhmät erillään, samaan aikaan pyrkii uudelleen rakentamaan topologian. Kuvassa 18 huomataan, että retopologia on vaikuttanut molempiin alueisiin säilyttäen ryhmien välisen reunuksen. [37.]



Kuva 18. Freeze Groups -asetus tekee retopologian eri polyryhmille säilyttämällä niiden reunuksen. [37]

Target Polygon count on asetus, jota säädetään liukusäätimellä. Liukusäätimellä säädetään polygonmäärää sellaiseksi, kuin itse haluaa. Mitä matalampi luku liukusäätimellä säädetään, sitä matalaresoluutioisempi retopologiasta tulee ja sitä enemmän 3D-malli menettää yksityiskohtia. [37.]

Adaptive Size -liukusäädinasetuksella voidaan säätää sitä, tekeekö ZRemesher topologiaan neliöitä vai kolmioita. Mitä korkeampi luku liukusäätimeen asetetaan, sitä enemmän se on halukkaampi tekemään kolmioita. Tämän lisäksi mitä suurempi luku liukusäätimessä on, sitä paremmin, se pyrkii pitämään mallin alkuperäistä muotoa. Tämä kuitenkin vaikuttaa siihen, että malliin jää enemmän polygoneja, jotta se pitää alkuperäistä muotoaan mahdollisemman hyvin. Kuvassa 19 nähdään Adaptive Size -asetuksen erot. Asetusten ero huomataan esimerkiksi korvia ja nenää vertaamalla. Oikeanpuolisessa kuvassa topologiaa on enemmän korvan ja nenän alueilla, jottei se menetä muotoaan. [37.]



Kuva 19. Adaptive Size -asetusten ero. Vasemmalla adaptive sizellä ei ole vaikutusta. Oikealla adaptive size on korkeimmalla arvollaan, jolloin siinä on enemmän polygoneja säilyttääkseen alkuperäistään muotoaan mahdollisemman hyvin. [37.]

Curve Strength -asetus toimii ZRemesher guides -sivellintä käyttämällä. Siveltimellä piirretään opas mallin päälle, joka vaikuttaa topologian virtaukseen. Kuvassa 20 nähdään, kuinka siveltimellä on piirretty opas, kuinka topologian kuuluisi mennä kasvoissa, silmissä ja suun alueella. [37.]



Kuva 20. ZRemesher guides -siveltimellä maalataan mallille opas, jonka mukaan ZRemesher tekee uuden topologian. [37.]

Kun verrataan kuvan 21 ZRemesherin vakiosäätimillä retopologisoitua mallia ja ZRemesher guidella piirretyllä oppaalla luotua topologiaa, huomataan, että vasemmanpuolisella mallilla topologiaa on enemmän niillä alueilla, johon opas piirrettiin. Suurta eroa niissä kuitenkin ei ole, sillä ZRemesher toimii loistavasti vakiosäätimillä [37.]



Kuva 21. Vakiosäätimillä retopologisoidun ja ZRemesher guide -siveltimellä retopologisoitu tulosten eroavaisuus. Oikealla kasvoissa on tiheämpää topologiaa niillä alueilla, johon on maalattu siveltimellä opas, jonka mukaan uusi topologia generoitui. [37.]

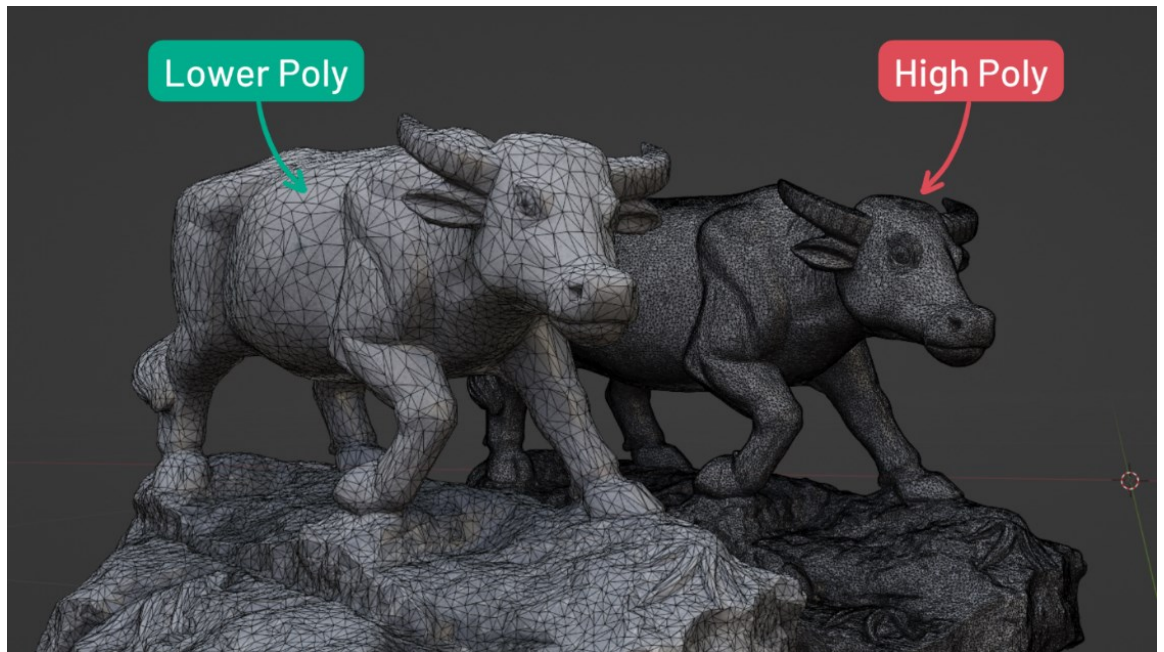
Curves Strength -liikusäätimellä voidaan säätää sitä, kuinka paljon uudessa topologiassa otetaan huomioon ZRemesher guides -siveltimellä piirretty opas. Mitä pienempi arvo liikusäätimessä on, sitä vähemmän se ottaa opasta huomioon, kun taas mitä suurempi arvo liikusäätimeen asetetaan, sitä enemmän se ottaa huomioon piirrettyä opasta. [37.]

Use polypaint on asetus, jolla määrätään maalaamalla ne kohdat, joihin halutaan tiheää topologiaa. Use polypaintissa käytetään kolmea väriä; punainen, sininen ja valkoinen. Kun alue maalaan punaisella värillä, sillä määritetään, että alueelle halutaan tiheämpää topologiaa, kun taas sinisen väri määrittää, minne halutaan vähemmän tiheämpää topologiaa. Valkoisella värillä ei ole vaikutusta ja ZRemesherillä on täysi hallinta topologian tiheydestä. Color Density -liikusäätimellä voidaan vaikuttaa siihen, kuinka tiheä lopputuloksesta tulee. [37.]

## 5 3D-mallien optimoinnin tärkeys

3D-mallien optimoinnilla tarkoitetaan prosessia, jossa pyritään pienentämään 3D-mallin monimutkaisuutta ja tiedostokokoa. Tiedoston kokoa voidaan pienentää optimoimalla 3D-mallin geometriaa ja tekstuureita. 3D-mallin optimointi parantaa suorituskykyä. Suorituskyvyllä on keskeinen rooli videopelituotannossa, koska se vaikuttaa suoraan pelaajakokemukseen. Kun 3D-mallit optimoidaan tehokkaasti, pelit toimivat tehokkaammin useilla eri laitteilla, mikä tuo tasaisemman pelikokemuksen isolle pelaajakunnalle. Visuaalisen tarkkuuden ja suorituskyvyn tasapainottaminen on tärkeää nautinnollisen pelikokemuksen luomiseksi. Siksi 3D-mallien optimointi pelimootoreille on tärkeää, jotta voidaan varmistaa optimaalinen suorituskyky tehokkaiden resurssien käytön varmistamiseksi. [38.] [39.]

Tietokonegrafiikassa polygonit ovat elementtejä, joita käytetään 3D-mallin pintojen rakentamiseen. Polygonit muodostuvat sarjasta yhdistetyistä pisteistä, jotka muodostavat 3D-mallin pinnan muodon. Mitä enemmän polygoneja 3D-mallissa käytetään, sitä yksityiskohtaisempi 3D-malli on. Malleja, joissa on paljon polygoneja, kutsutaan korkearesoluutioiseksi malliksi. Korkearesoluutiosissa malleissa on usein paljon yksityiskohtia ja niillä pyritään saamaan 3D-malli näyttämään realistiselta. Haittapuoli korkearesoluutiosissa 3D-malleissa on, että ne vievät paljon resursseja. Esimerkiksi mobiililaitteet eivät pysty käsittelemään korkealaatuisten 3D-mallien reaaliaikaista renderöintiä. Tämän seurauksena 3D-mallin latauksessa voi olla ongelmia ja aiheuttaa katsojalle epämiellyttävän kokemuksen. Ratkaisu tähän ongelmaan on vähentää polygoneja 3D-mallista. Kun 3D-mallissa on vähemmän polygoneja se vähentää resursseja, joita laite tarvitsee 3D-mallin katseluun, koska hahmotettavia yksityiskohtia on vähemmän. Kun polygoneja on vähemmän, se myös pienentää tiedostokokoa ja lyhentää latausaikaa. 3D-malleja, joissa on pienempi määrä polygoneja, kutsutaan matalaresoluutioiseksi 3D-malliksi. Polygonin pienentäminen auttaa suorituskykyongelmissa, mutta sillä on vaikutusta 3D-mallin visuaaliseen laatuun. Matalaresoluutiosesta 3D-mallista voi puuttua korkearesoluutiosen 3D-mallin yksityiskohdat ja vaikuttava visuaalinen ilme. [38.] Kuvassa 22 nähdään korkearesoluutiosen mallin ja matalaresoluutiosen mallin ero. Korkearesoluutiosessa mallissa on enemmän yksityiskohtia ja paljon enemmän polygoneja, kuin matalaresoluutiosessa mallissa.



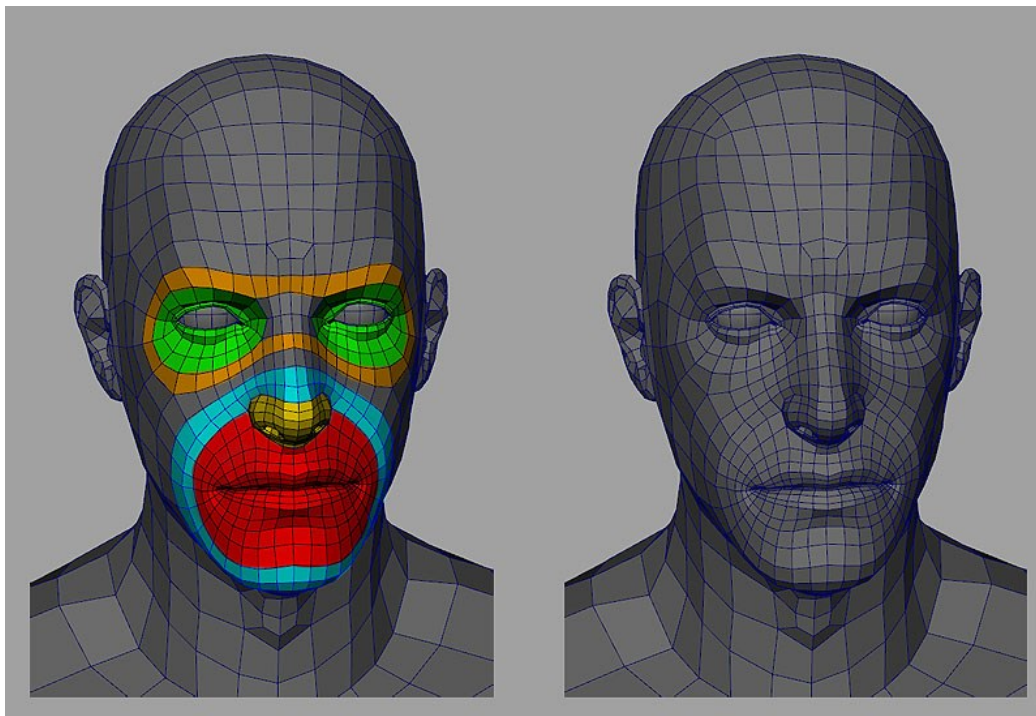
Kuva 22. Korkearesoluutioisen ja matalaresoluutioisen 3D-mallin ero. [38]

### 5.1 Hahmon retopologia

3D-veistämisen haittapuolena on, että veistäminen luo paljon polygoneja, mikä hidastaa 3D-mallin prosessointia. Retopologia on tärkeää 3D-malleissa, silloin kun 3D-mallin halutaan muuttavan muotoaan. Kun 3D-mallin halutaan muuttavan muotoaan animoinnissa ja 3D-mallissa on liian paljon polygoneja, monet 3D-ohjelmat eivät pysty käsittelemään korkealaatuisia 3D-malleja ja siksi kärsivät suorituskykyongelmista. Näissä tilanteissa retopologia astuu esiin. Retopologiassa korkearesoluutioisen mallin päälle rakennetaan matalaresoluutioinen malli, joka on helpottaa suorituskykyä sekä sopii animointiin. Retopologisoitu 3D-malli on helppo UV-unwrapata, mikä on tärkeää tekstuurien luomisen kannalta. Retopologiassa hyvä puoli on, että korkearesoluutioisen mallin yksityiskohdat saadaan sen normal map -kartasta, jota voidaan käyttää matalaresoluutioisella mallilla. [40.] [41.]

Hahmon kasvoissa oikeanlainen topologia on erityisen tärkeää, jos hahmon halutaan tekevän ilmeitä. Kasvoissa on oltava tietyt tärkeät silmukat, jotta kasvot muodostuvat kunnolla. Kasvojen topologiassa on tärkeää, että kasvojen lihaksia pitkin kulkevat puhtaat reunasilmukat, jotta niiden vääristyessä liike liikkuu oikein. Kuvassa 23 on väreillä kuvattu tärkeät silmukat, joiden tulee olla hahmon silmien ympärillä. Punaisella värillä värjättyä aluetta kutsutaan huulisilmukaksi, sinistä

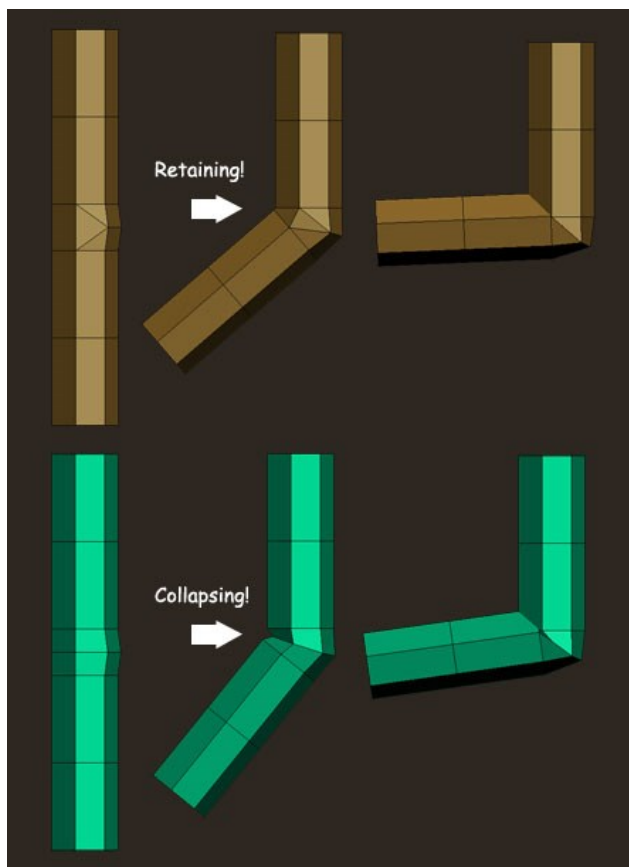
aluetta kutsutaan hymylihakseksi, vihreää aluetta silmäsilmutaksi, oranssia aluetta kulmakarva-poskiluu silmutaksi ja keltainen alue on nenän määritelmä. [42.]



Kuva 23. Värillä merkitty hahmon pään topologian tärkeimmät silmukat, jotta saavutetaan puhdas topologia kasvojen animointia varten. [42]

Kun aloitetaan hahmon kasvojen retopologia, silmät ovat hyvä paikka sen aloittamiseen, koska suurin osa kasvojen rakenteesta on riippuvaisia silmien alueesta. Silmäsilmut tulisi olla sellaista geometriaa, joka virtaa täydellisessä pyöreässä silmutassa, kiertäen silmäluomien ja silmänympärysalueen. Silmän alueet tarvitsevat tiehän alueen, koska silmien alueet venyvät, kun silmät sulkeutuvat. Huulien silmutka seuraa samanlaista virtausta, kuin silmissä. Silmutkoita halutaan luoda tiheästi suun, nenän ja leuan alueelle, jotta se pystyy muuttamaan muotoaan monilla eri tavoin. Hymylihas yhdistyy poskien kautta nenän alueelle. Tällä tavalla retopologia rakentuu paremman animaation luomiseksi. Nämä alueet toimivat keskenään, kun ne muuttavat muotoaan. Kun hahmo hymyilee tai rypistää otsaansa, poskien täytyy liikkua poskien mukana. Hymylihas varmistaa, että nämä ilmeet ovat luonnollisia ja realistisia. Nenän alueen topologia määrittää nenän ja sierainten muodot. Nenän ja sierainten retopologiassa on hyvä välttää silmutkoiden virtaamista poskille, koska se voi aiheuttaa vääristymiä muuttaessaan muotoaan. Nenän- ja sierainten silmutkoiden tulisi yhdistää huulisilmutkan kanssa yhteen. Kasvojen retopologiassa on hyvä välttää kolmioiden syntymistä etenkin suun ja silmien alueella, sillä kolmiot katkaisevat silmutkoiden virtauksen ja eivät muuta muotoaan hyvin näillä alueilla. [42.]

Kun hahmon vartaloon tehdään retopologiaa, on kiinnitettävä huomiota niveliin. Huono topologia nivelissä voi vaikuttaa vakavasti hahmon muuttaessaan asentoa. Kuvassa 24 on luotu kaksi erilaista niveltä, joilla on erilainen topologia. Huomataan, että alemmassa topologia sortuu ja muuttaa muotoaan huonosti. Ylemmässä topologia toimii paremmin ja säilyttää muotonsa. Tällainen topologia tulisi olla hahmon kyynärpäissä ja polvinivelissä. Näissä kohdissa pienempi määrä polygoneja on ideaalinen. [42.]



Kuva 24. Hyvän ja huonon niveltopologian ero. [42]

## 6 Projekti: Hahmon veistäminen ja optimointi

Tässä osiossa dokumentoidaan projektin eteneminen työvaiheittain. Projektissa veistettiin hahmo ZBrushilla hyödyntäen opinnäytetyössä käsiteltyjä työkaluja ja tekniikoita. Projektin tavoitteena oli harjoitella ZBrushin käyttöä ja sen työkaluja ja kehittää ammatillista osaamista.

Projektia suunniteltaessa tavoitteena oli tehdä hahmo sellaisella tyylillä, jonka tekemisestä ei ollut aikaisempaa kokemusta. Siksi hahmon tädetyyliksi valittiin tyylitelty ja genreksi fantasia ja hahmoksi haltija. Kun työn aihe oli päätetty, alettiin suunnittelemaan, millaisesta hahmosta on kyse. Suunnittelun jälkeen siirryttiin hahmon blockout-vaiheeseen ZBrushissa, jossa hahmon perusta luotiin kokonaan itse. Blockout-vaiheen jälkeen alettiin veistämään yksityiskohtaisempaa hahmoa. Veistämisen jälkeen hahmolle luotiin optimoidumpi topologia Blenderissä. Tämän jälkeen hahmo viimeisteltiin teksturoimalla Substance Painterissa ja renderöimällä hahmosta kuvia Blenderissä.

### 6.1 Suunnitelma

Ennen varsinaista suunnitelman aloittamista haluttiin kartoittaa omia tavoitteita projektille. Projektin haluttiin olla opettavainen ja tehdä jotain sellaista, jota ei oltu aikaisemmin tehnyt. Päädettiin, että halutaan veistää ZBrushissa tyylitelty fantasiahahmon, josta luodaan optimoitu versio Blenderissä. Tavoitteena oli luoda hahmo tyhjästä hyödyntämällä opinnäytetyössä käsiteltyjä työkaluja. Projektissa haluttiin harjoitella ZBrush-ohjelmiston käyttöä sekä oppia, kuinka veistystä korkearesoluutioisesta hahmosta luodaan matalaresoluutioinen versio. Tavoitteena oli siis veistää fantasiahahmo, josta tehdään matalaresoluutioisen versio tekemällä sille retopologia.

Kun oli asetettu tavoitteet, mitä halutaan tehdä, aloitettiin suunnittelemaan, millaisen fantasiahahmo halutaan luoda. Päädettiin luoda dark elf -hahmo. Aluksi etsittiin verkosta referenssikuvia, jotka olivat tyyliltään sellaista, jota haluttiin omassa työssä hyödyntää. Kuvista tehtiin moodboard, jota käytettiin apuna hahmoa veistäessä. Moodboardiin laitettiin referenssikuvia mahdollisista hiustyyleistä, vaatteista ja koruista.

## 6.2 Veistäminen

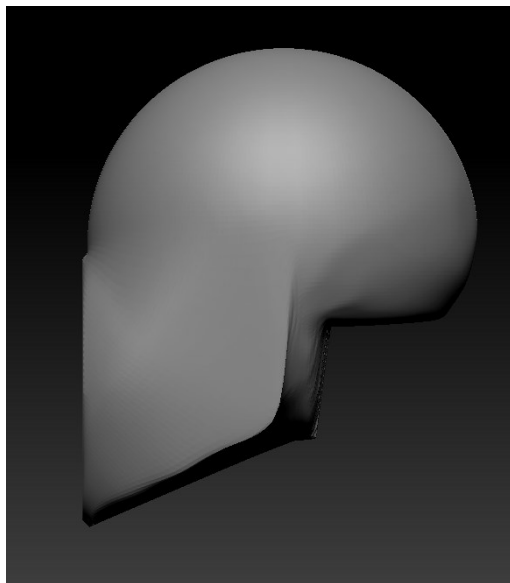
Koska haluttiin luoda hahmon tyhjältä, luotiin hahmon pohja blockout käyttäen primitiivisiä objekteja. Hahmon pohja aloitettiin lisäämällä palloja, joita muovattiin move-siveltimellä erilaisiin muotoihin. Siten muotoiltiin torso, kädet ja jalat. Blockout-vaiheessa käytettiin symmetriaa, jotta raajat ovat samassa kohdissa. Kun perusmuodot olivat valmiit, muotoiltiin palloista samalla tavalla polvet, kynärpäät, sormet ja nilkat. [43.] Kuvassa 25 on blockout-vaiheen lopputulos.



Kuva 25. Lopputulos blockout-vaiheesta.

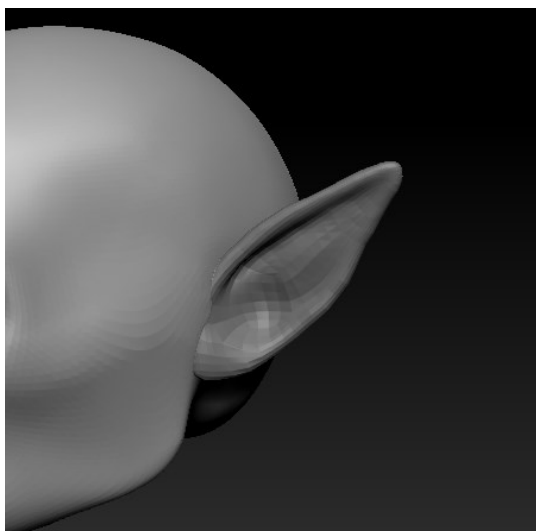
Kun vartalon blockout-vaihe oli valmis, aloitettiin pään veistämisen. Aluksi lisättiin pallo-objekti, josta päätä alettiin muodostamaan. Päättä veistäessä käytettiin symmetriaa, jotta muutokset tulevat molemmin puolin kasvoja. Pallosta haluttiin luoda kallon muotoinen. Kallon muotoilussa käytettiin Mask-, TransPose-, ja Clip-työkalua. Näiden avulla luotiin pääkallon pohja. Mask-työkalulla rajattiin takaraivon ja leuan alue, joka TransPose-työkalulla työnnettiin pallon alaosaan alue pallon sisälle muodostaen alueesta takaraivon. Pallon etuosasta rajattiin alue, josta TransPose-työkalulla kierrettiin aluetta eteenpäin, joka loi leukalinjan ja kasvojen alueen. Clip-työkalulla tasoitettiin kasvojen aluetta leikkaamalla ylimääräinen geometria pois. Move-työkalulla kasvoja päätä haluttiin litistää hieman yhteen, jotta pää ei ole liian leveä. Move-työkalulla muotoiltiin leuka, ja Smooth-työkalulla tasoitettiin terävät reunat. Takaraivon alue veistettiin pääkallon

muotoon käyttäen Trim Dynamic -siveltimellä. Move-työkalulla jatkettiin pään muotoilua ja lopuksi Smooth-työkalulla jatkettiin tasoittamista. [44.] Kuvassa 26 pää muotoiluvaiheessa.



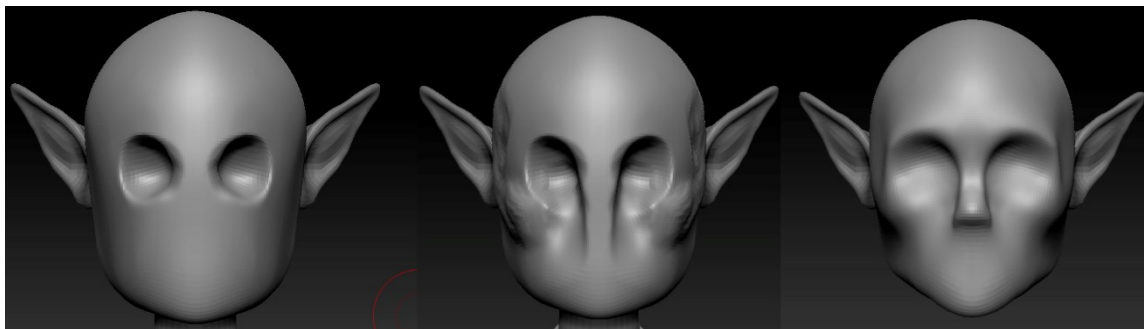
Kuva 26. Pään perusmuoto veistosprosessissa.

Koska haluttiin tehdä haltia, täytyi korvista luoda erilaiset kuin ihmisen korvat. Korvia lähdettiin muotoilemaan sylinteriobjektista. Sylinteri puolitettiin, minkä jälkeen siihen lisättiin DynaMesh, jotta topologia korjaantuu ja helpottaa korvan muotoilua. Move-siveltimellä muotoiltiin korvaa, haltiamaiseksi lisäämällä korvaan pituutta. Kun korvan muoto oli saatu kohdalleen, kaiverrettiin korvaan syvyyttä sekä korvan rusto-osuudesta tehtiin paksumpi Inflate-siveltimellä. [44] Kuvassa 27 korvan lopputulos.



Kuva 27. Korvan lopputulos.

Korvien valmistumisen jälkeen jatkettiin kasvojen veistämistä. Clay BuildUp -siveltimellä kaiverrettiin silmäkuopat ja nenän sivut, jonka jälkeen veistettiin poskiluu. Tämän jälkeen Smooth-siveltimellä tasoitettiin pintaa tasaisemmaksi. Move-siveltimellä vedettiin nenän päätä ulospäin. [44.] Kuvassa 28 nähdään veistosprosessi vaihe vaiheelta.



Kuva 28. Kasvojen veistosprosessi.

Silmien muodostaminen aloitettiin lisäämällä pallo, joka skaalattiin silmämunan kokoiseksi ja aseteltiin se silmän kohdalle. Pallosta rajattiin alue, johon geometriaa haluttiin lisää. Tämä loi silmän luomet. Luomille tehtiin uusi topologia ZRemesher-työkalulla, sillä pallo oli liian korkearesoluutivoinen. Luomia kierrettiin niin, että silmä oli enemmän auki, minkä jälkeen silmämunia ja luomia työnnettiin enemmän pään sisälle. Move-siveltimellä silmän luomia muotoiltiin enemmän silmien muotoiseksi. Silmä kopioitiin kasvojen toiselle puolelle ja veistämistä jatkettiin symmetriaa käyttämällä, jotta muutokset tulevat molempiin silmiin. Silmäluomien muotoa hiottiin lisää. Kun silmien muoto saatiin haluttuun muotoon, silmäluomien alle lisättiin geometriaa Clay BuildUp -siveltimellä. Näin saatiin silmät ja pää sulautettua keskenään yhteen. Dam Standard -siveltimellä hiottiin kulmakarvojen aluetta terävämmäksi. Smooth-siveltimellä tasoitettiin veistetyt alueet tasaisiksi. [45.] Kuvassa 29 on silmien lopputulos.



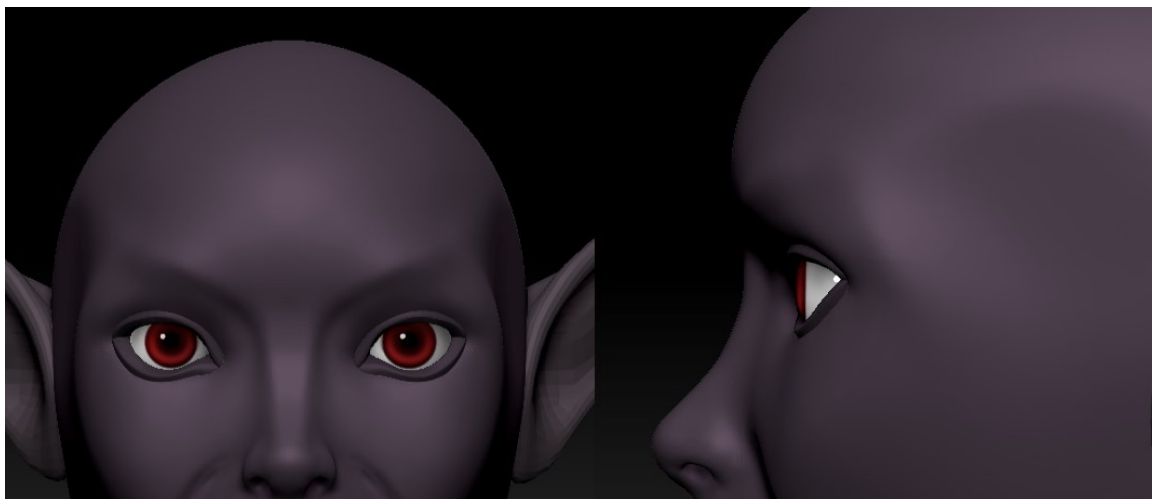
Kuva 29. Silmien lopputulos.

Silmien tekstuurin maalaamisessa kokeiltiin ZBrushin PolyPaint-ominaisuutta. Ensin silmien materiaaliksi vaihdettiin ToyPlastic-materiaali, jonka jälkeen palloihin lisättiin subdivison-tasoa, kunnes polygoneja on noin miljoona. Tämä helpotti silmien maalaamisen tarkkuudessa. Silmiin maalattiin keskelle musta ympyrä. Mustan ympyrän päälle maalattiin kirkkaammalla värillä toinen ympyrä hieman pienempää sivellin kokoa käyttäen. Värinä käytettiin punaista. Pehmeällä siveltimellä maalattiin vaaleaa korostusväriä käyttäen iiriksen alaosa. Yläosa maalattiin tummemmalla värillä. Tämän jälkeen iiriksen keskiosaan maalattiin tummalla värillä silmän pupilli. Silmämuniin luottiin silmäluomien tuoma varjostutus maalaten haalealla harmaasävyllä silmän yläosa. Tämän jälkeen muutettiin silmien muotoa paremmaksi Move-siveltimellä. [46.] Kuvassa 30 nähdään maalattujen silmien lopputulos.



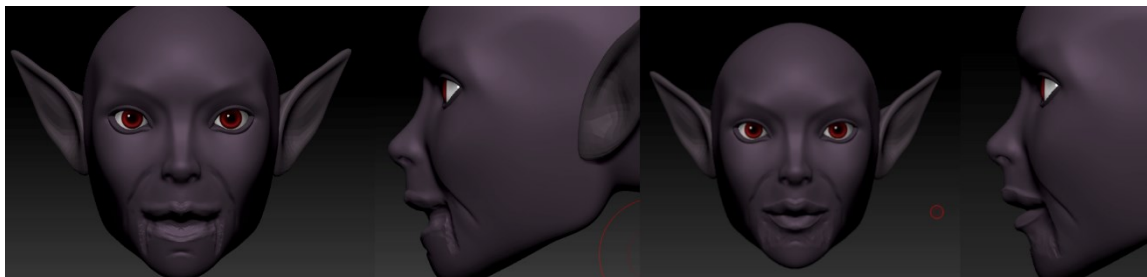
Kuva 30. Maalattujen silmien lopputulos.

Seuraavaksi siirryttiin nenän työstämiseen. Clay BuildUp -siveltimellä luotiin sierainten sivut veistämällä lisää geometriaa. Dam Standard -siveltimellä kaiverrettiin nenän sivun uurteet ja sierainten reiät. Clay BuildUp - ja Move-siveltimellä jatkettiin nenän työstämistä halutun näköiseksi. Lopuksi Smooth-siveltimellä tasoitettiin karkeat kohdat pois. [47.] Kuvassa 31 on nenän lopputulos.



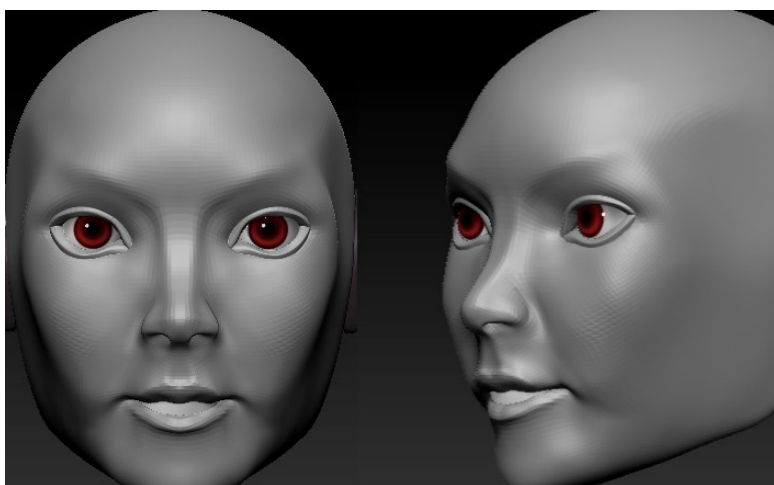
Kuva 31. Nenän lopputulos.

Nenän valmistumisen jälkeen jatkettiin suun veistämistä. Aluksi Dam Standard-siveltimellä luotiin ylä- ja alahuulten raja. Clay BuildUp -siveltimellä alettiin muotoilemaan ylähuulta lisäämällä geometriaa ja alahuulta kaiverrettiin hieman syvemmälle. Clay BuildUp -siveltimellä veistettiin alahuulten muoto. Huulien rajoista luotiin tarkemmat Dam Standard -sivellintä käyttäen. [48.] Kuvassa 32 nähdään huulten veistosprosessi.



Kuva 32. Huulten veistosprosessi.

Kun huulet olivat valmiit, lisättiin yksinkertaiset hampaat lisäämällä sylinteriobjekti, jonka materiaali muutettiin ToyPlastic-materiaaliksi ja väriksi valittiin valkoinen. Lopuksi hienosäädettiin Move-siveltimellä huulien muotoa. [48.] Kuvassa 33 huulten lopputulos.



Kuva 33. Huulten lopputulos

Kasvojen viimeistelyksi luotiin hahmolle ripset ja kulmakarvat. Ripset luotiin mask-siveltimellä rajaamalla yläluomista alue, johon ripset haluttiin tulevan. Extract-painikkeella luotiin ripsien geometria. Koska Extract loi huonon topologian, ripsiin tehtiin uusi topologia automaattisesti ZRemesheriä käyttäen. Move-siveltimellä säädettiin ripsien muotoa sellaiseksi kuin ne haluttiin. Kulmakarvat luotiin täysin samalla tekniikalla. [49.] Lopuksi kasvoihin tehtiin pieniä hienosäätelyjä, jotta kasvoihin oltiin tyytyväisiä. Kuvassa 34 valmiiden kasvojen lopputulos.



Kuva 34. Valmiiden kasvojen lopputulos.

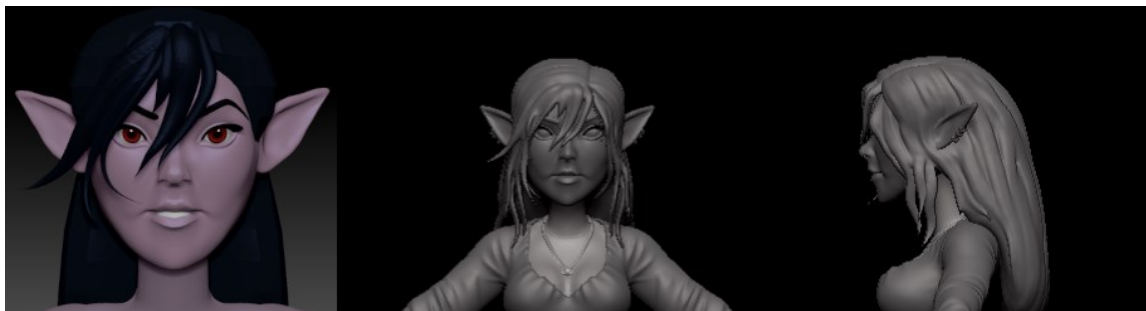
Kun pää oli valmis, siirryttiin vartalon muotojen veistämiseen. Alityökaluja alettiin lisäämään yhteen ja niitä alettiin sulauttamaan toisiinsa. Ensin sulautettiin käsien osat toisiinsa, sitten torson osat ja lopuksi jalkojen osat yhteen. Kun oli saatu halutut yksityiskohdat jokaiseen vartalon osaan, lisättiin lopuksi kaikki osat toisiinsa yhteen ja sulautin ne toisiinsa. Kuvassa 35 vartalon lopputulos.



Kuva 35. Valmis hahmopohja.

Hiusten veistämisen aloitettiin lisäämällä pallo, josta muotoiltiin hiusten pohja. Kun pohjasta alkoi olla halutun muotoinen, alettiin lisäämään yksittäisiä hiussuortuvia etuhiuksiksi. Hiussuortuvat aloitettiin lisäämällä pallo, jota skaalattiin x-akselilla. Deform-menusta valittiin Taper-valinta, jolla

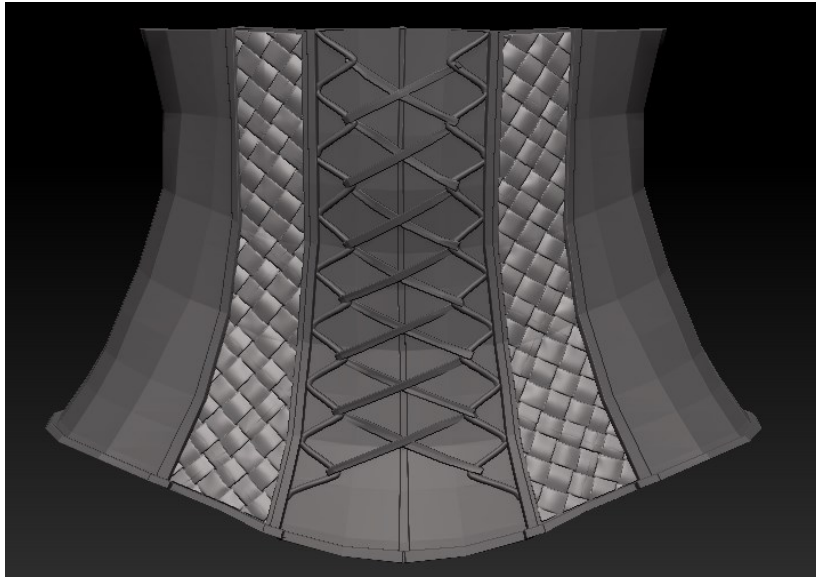
venytetystä pallosta muotoiltiin hiussuortuvan näköinen ja aseteltiin se haluttuun kohtaan. Näin luotiin kaikki etuhiusten hiussuortuvat. Dam Standard -siveltimellä veistettiin hiusten jakaus. Clay BuildUp -siveltimellä veistettiin hiussuortuvia, jonka jälkeen Smooth-siveltimellä pehmennettiin Clay BuildUp -siveltimestä jäänyt jälki tasaisemmaksi. [50.] Kuvassa 36 vasemmalla etuhiuksien muotoilu, keskellä ja oikealla hiusten lopputulos.



Kuva 36. Vasemmalla hiusten luominen alkuvaiheessa. Keskellä ja oikealla hiusten lopputulos.

Kun hahmon vartalo ja hiukset olivat valmiit, alettiin luomaan hahmolle vaatteetta. Vaatteet aloitettiin aluksi paidan veistämisellä. Mask-siveltimellä rajattiin hahmon torsosta ja käsistä alue, jonka muotoilin Mask-siveltimellä paidan muotoiseksi. Kun paidan muotoon oltiin tyytyväisiä, lisättiin paidan rajaukselle geometria Extract-painikkeesta. Paitaa veistettiin Clay BuildUp -siveltimellä. Paitaan lisättiin ryppyjä netistä ladatulla ilmaisella ZBrush-siveltimellä, joka loi ryppyjä automaattisesti.

Hahmolle luotiin korsetti Mask-siveltimellä piirtämällä alueen hahmon torsosta. Extract-painesta luotiin korsetin geometria. Korsetin teossa käytettiin ZModeler-sivellintä, joka mahdollistaa objektin muokkaamista manuaalisesti muun muassa lisäämällä silmukoita haluttuun kohtiin. ZModeler-sivellintä käyttäen korsettiin lisättiin alaosaan, yläosaan ja etuosaan geometriaa. Etuosaan muotoiltiin CurveTube-siveltimellä korsetin kiristimen osat. Kiristimien nauha muotoiltiin tavallisesta plane-objektista, joka aseteltiin kiristimien keskelle. Korsettiin luotiin nahkakoriste, joka luotiin tekemällä alpha-sivellin. Plane-objekteja luotiin allekkain, minkä jälkeen ne kopiottiin ja kopioidut plane-objektit käännettiin 90 astetta ympäri. Tämän jälkeen ne aseteltiin alla olevien plane-objektien päälle. Plane-objekteille lisättiin paksuutta ja lisättiin poly countia isommaksi. Tämän jälkeen planet-objektit aseteltiin piirtoalueelle, josta luotiin alpha. UV Surface -valikosta valittiin Noise-valikko, josta alpha saatiin lisättyä itse varsinaiseen objektiin. Asetuksista saatiin säädettyä alphan vahvuutta ja skaalaa. [51.] Kuvassa 37 on korsetin lopputulos.



Kuva 37. Valmis korsetti.

Korsetin jälkeen luotiin hame. Hame tekeminen aloitettiin lisäämällä sylinteri hahmon vyötärön alueelle. Yläkulma perspektiivistä sylinteristä maalattiin Mask-siveltimellä alue käyttäen hahmon vyötäröä opasteena, miltä alueelta maski halutaan luoda. Kun maksii oli luotu yläpuolelta, vaihdettiin perspektiivi alakulmaan, josta samalla tavalla mask-siveltimellä maalattiin hameen helma. Hameen helmaan luotiin laineita käyttäen MaskLasso-sivellintä. Maalatuista alueista tehtiin oma polygroup, poistaen maskin ulkopuolelta turhat alueet. CurveBridge-siveltimellä saatiin yhdistettyä hameen ylä- ja alaosa toisiinsa. Tämän jälkeen Move-siveltimellä aseteltiin hame hahmolle sopivaksi. [52.] Lopuksi pidennettiin hameen helmaa ja paksuutta.

Hahmolle luotiin kenkien pohja Blenderissä perinteisellä polygonimallinnuksella. Kun kengän pohjamalli oli hyvä, tuotiin kengät takaisin ZBrushiin. ZBrushissa kenkiin lisättiin subdivision-tasoa isommaksi, jotta kovat kulmat pehmentyvät. Kenkiin luotiin nauhat plane-objekteista. Kun kaikki vaatteiden osat olivat valmiit, hahmolle luotiin lisätarvikkeita kuten koruja, vöitä, laukku ja käsihaarniskat. Kuvassa 38 lopputulos valmiista hahmosta. Valmiissa veistetyssä hahmossa oli noin 1,4 miljoonaa polyonia.



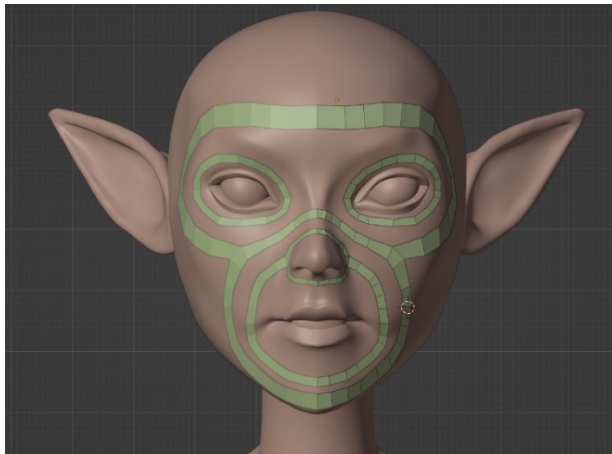
Kuva 38. Valmis veistetty hahmo.

### 6.3 Optimointi

Optimointi on tärkeä osa pelihahmon luontia, siksi projektissa haluttiin hyödyntää mahdollisuutta optimoida veistetty hahmo ja oppia, kuinka luodaan hyvä topologia hahmolle käyttäen Blenderiä. Kun veistetty hahmo valmistui siinä, oli noin 1,4 miljoonaa polygonia. Koska hahmossa oli miljoonia polygoneja, sen tuominen ZBrushista Blenderiin oli tietokoneelle todella raskasta prosessoida, siksi optimoinnista tuli tärkeä osa projektia.

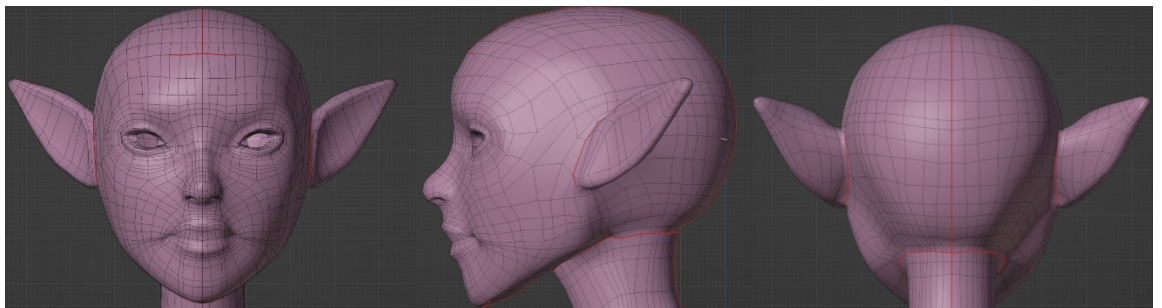
Hahmo tuotiin ZBrushista Blenderiin. Optimoinnin aloittamista helpotti että, kaikki hahmon vaatteet ja hiukset olivat erillään toisistaan, joten niitä ei tarvinnut erotella toisistaan. Retopologian aloitettiin hahmon kasvoista. Kasvojen topologia aloitettiin lisäämällä plane-objekti kasvoja vasten. Plane-objektiin lisättiin Mirror Modifier, joka kopioi muutokset kasvojen toiselle puolelle. Blenderin asetuksista valittiin snapping-asetus, joka auttaa topologian luomisessa, sillä lisätyt

verteksit napsahtavat alla olevan mallin päälle. Koska snapping-asetus asettaa verteksit alla olevan mallin päälle, niin että olisi vaikea työskennellä, lisättiin Shrinkwrap modifier. Shrinkwrap modifierillä saadaan tuotua verteksit alla olevan mallin päälle siten, että ne eivät ole täysin kiinni mallissa, mikä helpottaa työskentelyä. Naaman topologiaa aloitettiin silmien silmukan luomisella. Silmien alue aloitettiin lisäämällä geometriaa otsasta kiertäen poiskiluun alueelle, josta geometriaa jatkettiin nenän varteen. Poskiluusta jatkettiin geometriaa leukaan asti. Silmien alueelle kopioitiin plane-objekti, josta luotiin geometriaa silmien ympärille. Tämän jälkeen jälleen kopioitiin plane-objekti ja luotiin siitä geometriaa nenän alueelle, nenän pään yläpuolelta kiertäen sieraimet. Sierainten kohdalta jatkettiin topologian lisäämistä leukaan. [53.] Kuvassa 39. Kasvojen topologian aloitus.



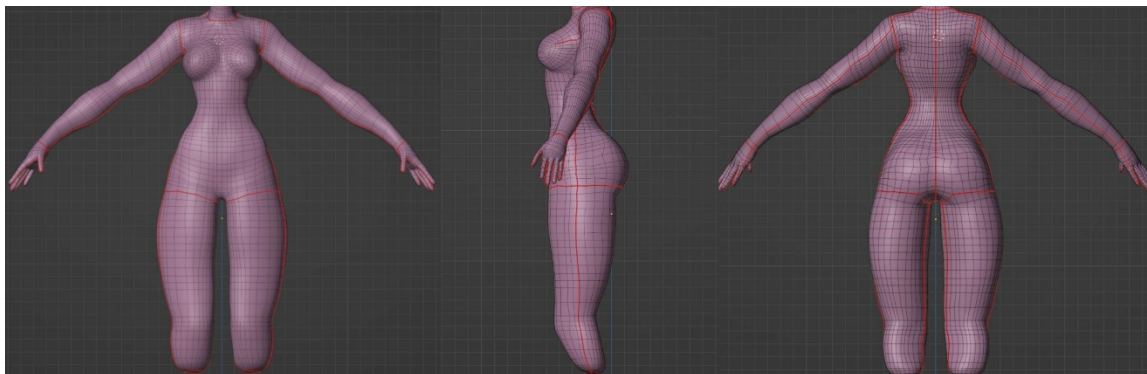
Kuva 39. Kasvojen topologian aloitus.

Kun topologian pohja oli valmis, voitiin yhdistää osat toisiinsa ja jatkaa topologian luomista takarivoon, korviin ja kaulaan. Korvien topologian luominen osoittautui haasteelliseksi korvien muodon takia. Kuvassa 40 pään valmis topologia.



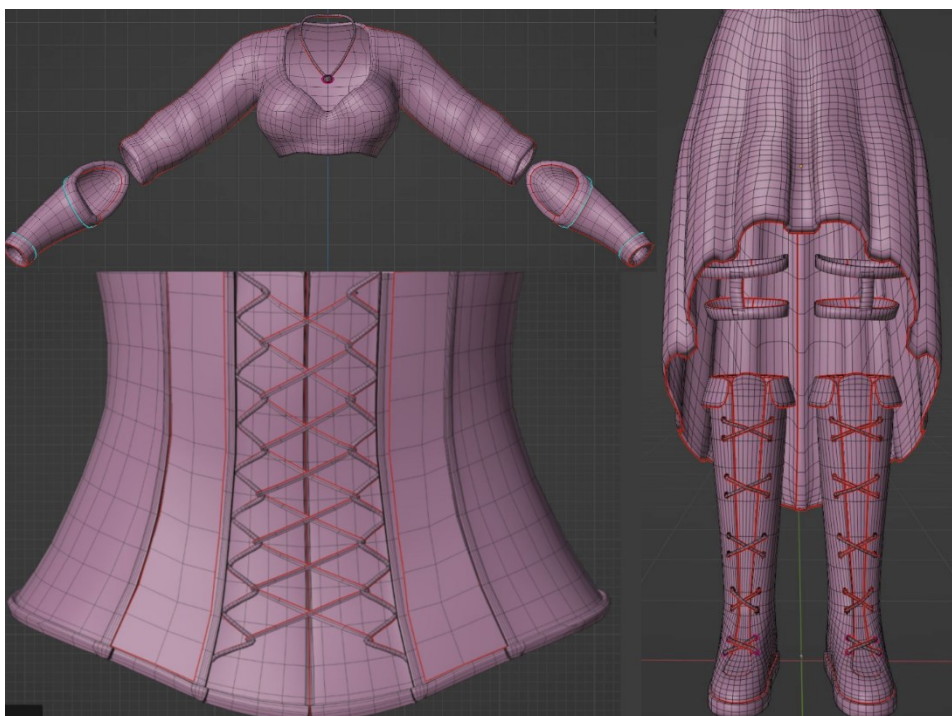
Kuva 40. Valmis pään topologia.

Pään valmistuttua jatkettiin topologian luomista loppuvartaloon. Veistämisvaiheessa leikattiin jalat polven alta pois, sillä hahmolla on kengät eikä jalkoja tulla näkemään. Koska hahmolle ei tullut luurankoa eikä animaatioita en keskittynyt nivelten oikeanlaiseen topologiaan. Kuvassa 41 valmis vartalon topologia.



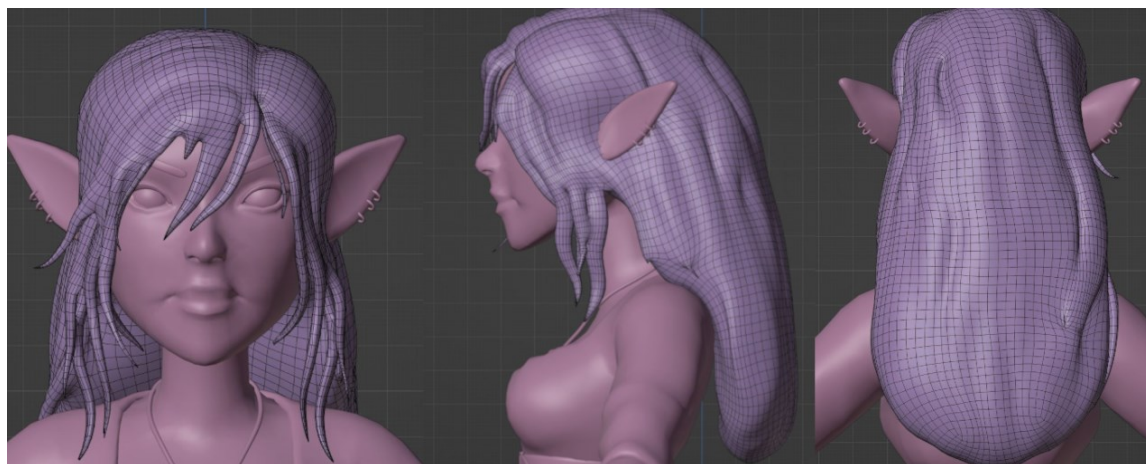
Kuva 41. Valmis vartalon topologia.

Kun vartalon topologia oli valmis, siirryttiin vaatteiden topologiaan. Koska aika oli rajallinen, päädyttiin käyttämään Blenderin Un-Subdivide-toimintoa, joka poistaa ylimääräisiä reunasilmukoita. Un-Subdivide- toiminto pystyi hyvin vaatteista poistamaan turhia reunasilmukoita, mikä nopeutti työn valmistumista. Kuvassa 42 vaatteiden optimoidut versiot.



Kuva 42. Optimoidut vaatteet.

Hiusten optimointi aloitettiin samalla tavalla, kuin vartalon topologian. Tämä tekniikka ei kuitenkaan ei toiminut halutulla tavalla ja topologia ei näyttänyt hyvältä. Blenderin Un-Subdivide-toimintoa kokeiltiin, onnistuisiko polygonien vähentäminen sillä. Tämäkään ei tuottanut haluttua lopputulosta. Päädettiin lopuksi kokeilemaan, millaisen lopputuloksen ZBrushin ZRemesher-työkalu pystyi luomaan. ZRemesherillä saatiin luotua lopputuloksen hiuksien topologialle, joten päätettiin käyttämään tätä lopputulosta. Kuvassa 43 nähdään ZRemesherillä luotu topologia.



Kuva 43. Hiusten topologia ZRemesheriä käyttäen.

Ennen hahmon optimointia polygoneja oli noin 1,4 miljoonaa. Retopologian jälkeen optimoidussa hahmossa oli noin 69 000 polygonia.

#### 6.4 Lopputulos

Kun optimoitu versio hahmosta oli valmis, se vietiin Substance Painteriin. Korkearesoluutioisen mallin yksityiskohdat beikattiin matalaresoluutioiseen malliin. Hahmon hiukset, ihon ja silmät teksturoitiin käsin. Vaatteiden teksturoimiseen hyödynnettiin valmiita SmartMaterial-tekstureita, joita muokattiin hahmolle sopivaksi. Teksturoimisen jälkeen hahmo tuotiin takaisin Blenderiin kuvien renderöimistä varten. Kuvassa 44 näkyy teksturoitu ja renderöity hahmo.



Kuva 44. Projektin lopputulos.

Opinnäytetyön teoriaosuuden tarkoituksena oli tutustua ZBrushiin hahmonluonnin työkaluna, tutustua sen hyödyllisiin työkaluihin, tarkastella optimoinnin tärkeyttä sekä pohtia, miksi hyvä topologia on tärkeää. Projektiosuudessa haluttiin hyödyntää työkaluja, joita käsiteltiin teoriaosuudessa. Projektin tarkoituksena oli harjoitella 3D-veistämistä, kokeilla luoda hahmo tyyllillä, jota ei ollut aikaisemmin kokeiltu sekä optimoida hahmo tekemällä sille retopologia. Projektin tulokseksi osoittautui, että veistäminen oli luovempaa kuin polygonimallinnus, sillä veistäessä ei tarvinnut huolehtia oikeanlaisesta topologiasta, vaan pystyi pelkästään keskittymään veistämiseen.

Projektin alussa ZBrushin käyttöliittymä tuntui hankalalta ottaa haltuun, mutta käyttöliittymä opittiin loppujen lopuksi yllättävän nopeasti. Projektin aikana huomattiin, että ZBrush ja veistäminen on tekijän mieleinen tapa luoda hahmoja. Projektissa onnistuttiin luomaan hyvännäköinen hahmo hyödyntäen ZBrushin työkaluja. Projektin aikana huomattiin, että ZBrushin ominaiset työkalut nopeuttavat työskentelyä toisin kuin muissa 3D-mallinnus ohjelmistoissa, joissa näitä työkaluja ei ole.

Projektin lopputulokseksi saatiin luotua hyvälaatuinen hahmo. Haasteellista projektissa oli hahmon optimointi. Koska aika oli rajallinen, ei ollut aikaa keksittyä jokaiseen osioon yhtä paljon. Päädyttiin keskittymään siihen, että hahmon kasvoille saatiin luotua oikeanlaisen topologian. Haasteellisia alueita oli hahmon korvat, hiukset ja sormet. Retopologia on asia, joka vaatii lisäharjoitusta. Rajallinen aika myös vaikutti siihen, ettei ehditty paljoa keskittyä vaatteiden retopologiaan, jonka takia pyrittiin käyttämään työkaluja, jotka vähentävät polygoneja automaattisesti. Vaikeuksia oli myös luoda retopologia hiuksiin, koska ne eivät olleet symmetriset. Menetettiin aikaa siihen, että aluksi hiuksiin alettiin luomaan retopologiaa käsin, mutta siitä ei saatu riittävän hyvännäköistä tulosta. Aikaa käytettiin paljon siihen, että kokeiltiin erilaisia tapoja saada hiukset optimoitua, mutta päädyttiinkin lopuksi tekemään automatisoitu retopologia ZRemesherillä. Ajan säästämiseksi olisi voitu rajata tarkemmin, mille tehdään käsin retopologian ja mille käytetään automatisoitua retopologiatyökaluja.

Työtä pystyttäisiin kehittää eteenpäin syventymällä lisää ZBrushissa teksturoimiseen sekä tutustumalla ZBrushin poseeraustyökaluun. Kaiken kaikkiaan opinnäytetyö auttoi löytämään mieleisen hahmon mallinnustavan ja auttoi ottamaan ZBrushin osaksi omaa hahmonmallinnusprosessia.

Hahmonsuunnittelu on tärkeä osa hahmon luontia. Hahmonsuunnittelussa on hyvä aluksi määrittellä mihin käyttötarkoitukseen hahmo tulee, kenelle se tehdään ja onko sillä jonkinlainen toiminnallisuus. Konseptointivaiheessa hahmon tyylivalinnassa, anatomiasa ja vaatetuksessa on tärkeää konsertoida hahmo siten, että se on mielenkiintoinen ja tunnistettava.

Digitaalinen veistämien on prosessi, jossa digitaalisen veistämiseen tarkoitettulla ohjelmistolla manipuloidaan virtuaalista savea siveltimillä ja muilla erilaisilla työkaluilla. Digitaalista veistämistä voidaan käyttää eri aloilla esimerkiksi peleissä ja elokuvissa. Digitaalinen veistäminen on luova tapa luoda hahmoja. Veistäessä voidaan keskittyä täysin hahmon ilmeen muodostamiseen, jonka jälkeen keskitytään teknisiin asioihin. Perinteisessä 3D-mallintamisessa taas keskitytään hahmon ilmeen luomiseen sekä samaan aikaan täytyy keskittyä teknisiin asioihin. Vaikka veistäminen on luovempi tapa luoda hahmoja graafikon olisi hyvä osata optimoida hahmo perinteisellä 3D-mallinnuksella, sillä optimointi tulee todella tärkeäksi, kun veistettävää hahmoa halutaan animoida ja käyttää pelissä, jotta peli pyörisi mahdollisimman sulavasti usealla eri laitteella. Kun hahmoa halutaan käyttää esimerkiksi animaatioissa, on tärkeää, että hahmon topologia on puhdasta, se virtaa oikein kasvoissa ja nivelissä, jotta hahmossa ei esiinny vääristymisiä liikkeen aikana.

ZBrush on digitaaliseen veistämiseen tarkoitettu ohjelmisto, siksi se sisältää lukuisia työkaluja, joista graafikko hyötyy veistämisprosessin aikana. Vaikka ZBrush on digitaalisen veistämiseen erikoistunut työkalu, perinteisen 3D-mallinnukseen perehtynyt graafikko voi löytää itselleen loistavia työkaluja, joita voi hyödyntää omassa työskentelyssään. ZBrush sisältää ZSphere hahmonsuunnittelutyökalun, joka nopeuttaa blockout-prosessia. DynaMesh-työkalu auttaa topologian generoimisessa, silloin kun topologia särkyy ja venyy ei halutulla tavalla. ZRemesher on automaattinen retopologia työkalu, joka sisältää paljon erilaisia asetuksia, joilla voidaan manipuloida, millaisen topologian se tekee veistokselle.

Opinnäytetyön päätarkoituksena oli tutustua syvemmin digitaaliseen veistämiseen ja ZBrush-veistosohjelmistoon osana hahmon veistämisprosessia, sillä ZBrush on pelialalla yleisesti käytetty ohjelma. Tämän lisäksi tavoitteena oli hyödyntää ZBrushin työkaluja käytännössä. Projektissa nämä tavoitteet saavutettiin ja saatiin luotua hyvälaatuinen hahmo hyödyntäen käsiteltyjä työkaluja.

Tekijä kokee, että hyötyi aiheesta paljon, sillä tutustuttiin hyödyllisiin työkaluihin, joita tullaan tulevaisuudessa hyödyntämään tekijän omissa projekteissa. Ennen opinnäytetyötä tekijällä oli vain vähän kokemusta, mitä ZBrushilla voidaan saada aikaan. Opinnäytetyön aikana tekijän tietotaito kasvoi.

## Lähteet

- [1] Harder Jenny. Designing Character with Personality and Expression [Video]. Artstation. [viitattu 7.2.2023]. Saatavilla: <https://www.artstation.com/learning/courses/pDK/designing-characters-with-personality-and-expression/chapters/BE9/defining-scope>
- [2] Rajpurohit Pradeepsingh. The Ultimate Video Game Character Design Guide. 300MIND [Internet]. 25.8.2023. [viitattu: 26.4.2024]. Saatavilla: <https://300mind.studio/blog/game-character-design-guide/>
- [3] What Is 3D Sculpting And Where Can You Use It? 3D-ace. [Internet]. 25.5.2021. [viitattu 16.1.2023]. Saatavilla: <https://3d-ace.com/blog/what-is-3d-sculpting-and-where-can-you-use-it/>
- [4] Heginbotham Claire. What is 3D Digital Sculpting. Concept Art Empire. [Internet]. [viitattu 16.1.2023]. Saatavilla: <https://conceptartempire.com/what-is-3d-sculpting/>
- [5] What sculpting tools and brushes can you use to create stunning 3D graphics? LinkedIn. [Internet] 15.12.2023. [viitattu: 13.5.2024]. Saatavilla: <https://www.linkedin.com/advice/0/what-sculpting-tools-brushes-can-you-use-create-stunning-o4g0c>
- [6] Importance of 3D Sculpting in Various Industries. Map Systems. [Internet]. [viitattu: 17.1.2023]. Saatavilla: <https://mapsystemsindia.com/resources/importance-of-3d-sculpting-and-their-industries.html>
- [7] FlippedNormals. Poly Modeling vs Sculpting – Which is Better? [Video]. Youtube. 2.1.2020 [viitattu 18.1.2023]. Saatavilla: <https://www.youtube.com/watch?v=EvzQYzczUH8>
- [8] ZBrush at a Glance. Pixologic. [Internet]. [viitattu 18.1.2023]. Saatavilla: <https://pixologic.com/features/about-zbrush.php>
- [9] Hatton Paul. ZBrush: everything you need to know. Creative Bloq. [Internet]. 21.1.2024. [viitattu 22.5.2024]. Saatavilla: <https://www.creativebloq.com/features/zbrush-everything-you-need-to-know>
- [10] What are the best resources to learn ZBrush, Blender, or Maya for digital sculpting? LinkedIn. [Internet] 26.2.2024. [viitattu: 10.5.2024]. Saatavilla: <https://www.linkedin.com/advice/3/what-best-resources-learn-zbrush-blender-maya-np5xe>

- [11] Royal Skies. Blender vs ZBrush – (HONEST Comparison) [Video]. Youtube. 13.8.2022 [viitattu: 10.5.2024]. Saatavilla: <https://www.youtube.com/watch?v=ESX14iJYCUs>
- [12] Keller Eric. Introducing ZBrush 3rd Edition. John Wiley & Sons, Incorporated; 2012. [viitattu: 19.1.2023]. Saatavilla: Ebook Central. s.20-22, 25, 31, 36-37, 39, 40
- [13] Wilde Michael. ZBrush 2020 for beginners – The UI and getting started [Video]. Michael Wilde. Youtube. 30.11.2019 [viitattu 27.1.2023]. Saatavilla: <https://www.youtube.com/watch?v=uuq8pzHToMQ>
- [14] FlippedNormals. The Only 6 Brushes You Ever Need in ZBrush [Video]. Youtube. 17.12.2020 [viitattu: 30.1.2023]. Saatavilla: <https://www.youtube.com/watch?v=TpS0QdlfHWU>
- [15] Sculpting brushes. Pixologic Documentation. [Internet]. [viitattu 30.1.2023]. Saatavilla: <http://docs.pixologic.com/user-guide/3d-modeling/sculpting/sculpting-brushes/>
- [16] W. Chain James. 10 tips for Sculpting Interesting heads in ZBrush. 3Dtotal. [Valokuva]. 11.5.2016. [viitattu: 20.1.2023]. Saatavilla: <https://3dtotal.com/news/inspiration/10-tips-for-sculpting-interesting-heads-in-zbrush-by-james-w-cain-top-head#article-tip-02-exaggerate-overall-shape>
- [17] Alphas. Pixologic Documentation. [Internet]. [viitattu: 7.2.2013]. Saatavilla: <http://docs.pixologic.com/user-guide/3d-modeling/sculpting/sculpting-brushes/alphas/>
- [18] Alpha from 3D Mesh. Pixologic Documentation [Internet]. [viitattu: 7.2.2023]. Saatavilla: <http://docs.pixologic.com/user-guide/3d-modeling/sculpting/sculpting-brushes/alpha-from-3d-mesh/>
- [19] Ana Carolina Art. Alphas in Zbrush – How to make and use them to speed up your sculpting workflow (+ lots of tricks) [Video]. Youtube. 26.3 2022 [viitattu: 7.2.2023]. Saatavilla: <https://www.youtube.com/watch?v=ReJsURX2L-k>
- [20] Follygon. Why Blockout? [Video]. YouTube. 20.2.2020 [viitattu: 13.2.2024]. Saatavilla: [https://www.youtube.com/watch?v=F7frk\\_7P00o](https://www.youtube.com/watch?v=F7frk_7P00o)
- [21] Howell Al. Blockout a Character in Zbrush (or Blender) using Primitive Shapes [Video]. Al Howell. Youtube. 24.5.2021 [viitattu: 13.2.2024]. Saatavilla: <https://www.youtube.com/watch?v=iMj-ytlwYVc>

- [22] From Sphere to Sculptures: Mastering Anatomy Blockouts in 3D Modeling. M3DS. [Valokuva]. [viitattu: 13.2.2024]. Saatavilla: <https://www.m3dsacademy.com/post/from-spheres-to-sculptures-mastering-anatomy-blockouts-in-3d-modeling>
- [23] ZSpheres. Pixologic Documentation. [Internet]. [viitattu: 7.2.2023]. Saatavilla: <http://docs.pixologic.com/user-guide/3d-modeling/modeling-basics/creating-meshes/zspheres/>
- [24] Basic Controls. Pixologic Documentation. [Internet]. [viitattu: 15.2.2023]. Saatavilla: <http://docs.pixologic.com/user-guide/3d-modeling/modeling-basics/creating-meshes/zspheres/basic-controls/>
- [25] hart. 10 EASY ways to CREATE GEOMETRY in ZBrush [Video]. Youtube. 12.10.2021 [viitattu: 11.8.2023]. Saatavilla: <https://www.youtube.com/watch?v=J3ePwRCCr44>
- [26] Pavlovich Michael. Intro to ZBrush 043 – Zspheres and ZSketching, fun ways of creating outside of just polygons!! [Video]. Michael Pavlovich. Youtube. 19.3.202. [viitattu 14.8.2023]. Saatavilla: <https://www.youtube.com/watch?v=R0anGrmGiY4&t>
- [27] Starting Your ZBrush Sculpt. Lunar Rooster. [Valokuva]. 24.5.2016. [viitattu: 14.8.2023]. Saatavilla: <https://lunarrooster.com/2016/05/24/starting-your-zbrush-sculpt/>
- [28] Adaptive Skin. Pixologic Documentation. [Internet]. [viitattu: 11.8.2023]. Saatavilla: <http://docs.pixologic.com/user-guide/3d-modeling/modeling-basics/creating-meshes/zspheres/adaptive-skin/>
- [29] Dynamesh. Pixologic Documentation. [Internet]. [viitattu: 16.8.2023]. Saatavilla: <http://docs.pixologic.com/user-guide/3d-modeling/modeling-basics/creating-meshes/dynamesh/>
- [30] Arbuthnot Michael. Tutorial: ZBrush – Using Dynamesh. michaelarbuthnot [Internet]. 19.1.2016. [viitattu 18.8.2023]. Saatavilla: <https://michaelarbuthnot.wordpress.com/2016/01/19/tutorial-zbrush-using-dynamesh/>
- [31] Jayanam. ZBrush Dynamesh Tutorial for beginners [Video]. Youtube. 17.4.2017 [viitattu: 20.8.2023]. Saatavilla: <https://www.youtube.com/watch?v=u5aEcwKH5EA&t=67s>
- [32] Options. Pixologic Documentation [Internet]. [viitattu 20.8.2023]. Saatavilla: <http://docs.pixologic.com/user-guide/3d-modeling/modeling-basics/creating-meshes/dynamesh/options/>

- [33] Royal Skies. ZBrush – DynaMesh Controls (In 2 Minutes!!) [Video]. Youtube. 7.7.2022 [viitattu: 20.8.2023]. Saatavilla: <https://www.youtube.com/watch?v=5x7hfkW5kkg>
- [34] Introduction. Pixologic Documentation. [Internet]. [viitattu: 12.9.2023]. Saatavilla: <https://docs.pixologic.com/user-guide/3d-modeling/topology/zremesher/introduction/>
- [35] Spyndel. Sorry you're having some trouble! [Foorumikommentti]. ZBrushCentral. 26.6.2019. [viitattu 30.4.2024]. Saatavilla: <https://www.zbrushcentral.com/t/zremesher-creating-spirals-not-loops/219047>
- [36] ZRemesher. Pixologic Documentation. [Internet]. [viitattu: 12.9.2023]. Saatavilla: <https://docs.pixologic.com/reference-guide/tool/polymesh/geometry/zremesher/>
- [37] hart. Zremesher – All Settings EXPLAINED! [Video]. Youtube. 28.9.2021 [viitattu: 12.9.2023]. Saatavilla: <https://www.youtube.com/watch?v=0fEC6Tr9CC8>
- [38] Zvejnieks Gatis. 3D Model Optimization: Pros and Cons. overlyapp. [Internet]. 21.2.2023. [viitattu: 14.2.2024]. Saatavilla: <https://overlyapp.com/blog/3d-model-optimization-pros-cons/>
- [39] Optimizing your 3D Models for Better Video Game Performance. Sloyd. [Internet]. [viitattu: 14.2.2024]. Saatavilla: <https://www.sloyd.ai/blog/optimizing-your-3d-models-for-better-video-game-performance>
- [40] Petty Josh. What is Retopology? (A Complete Intro Guide For Beginners). Concept Art Empire. [Internet]. [viitattu: 15.2.2024]. Saatavilla: <https://conceptartempire.com/retopology/>
- [41] FlippedNormals. The Real Reason We Retopologize Our 3D Models [Video]. Youtube. 13.9.2018 [viitattu: 15.2.2024]. Saatavilla: <https://www.youtube.com/watch?v=Wa9gDxsP8h0>
- [42] Isabel. Specialisation: Topology on Character Models. Isabel's Creative Blog. [Internet]. 23.8.2016. [viitattu: 19.2.2024]. Saatavilla: <https://isabelcfernan-dez.wordpress.com/2016/08/23/specialisation-topology-on-character-models/>
- [43] 3d art with Djavad. how to create stylized anatomy in ZBrush [Video]. Youtube. 9.3.2020 [viitattu: 14.3.2023]. Saatavilla: [https://www.youtube.com/watch?v=HoUplKD85\\_8](https://www.youtube.com/watch?v=HoUplKD85_8)
- [44] Danny Mac 3D. How to sculpt a stylized head in ZBrush – Tutorial Part 1 [Video]. Youtube. 5.1.2017 [viitattu: 15.3.2023]. Saatavilla: <https://www.youtube.com/watch?v=cjZt0ICfutQ>

- [45] Danny Mac 3D. How to sculpt eyes in ZBrush – Tutorial Part 2 – Sculpting the Head [Video]. Youtube. 12.1.2017 [viitattu: 17.3.2023]. Saatavilla: <https://www.youtube.com/watch?v=hg2D3RL1S24&t=1s>
- [46] Danny Mac 3D. How to Polypaint the eye in ZBrush – Tutorial Part 3 - Sculpting the Head [Video]. Youtube. 12.1.2017 [viitattu: 17.3.2023]. Saatavilla: <https://www.youtube.com/watch?v=vRxwDX4x4dM>
- [47] Danny Mac 3D. How to sculpt a stylized nose – Tutorial Part 4 - Sculpting the Head [Video]. Youtube. 19.1.2017 [viitattu: 18.3.2023]. Saatavilla: <https://www.youtube.com/watch?v=OhukaF7niIM>
- [48] Danny Mac 3D. How to sculpt a stylized Mouth – Tutorial Part 5 - Sculpting the Head [Video]. YouTube. 26.1.2017 [viitattu: 18.3.2023]. Saatavilla: <https://www.youtube.com/watch?v=xuSifGirjc&t=1s>
- [49] Danny Mac 3D. How to sculpt eyelashes in Zbrush – method 1 tutorial [Video]. Youtube. 13.12.2016 [viitattu: 19.3.2023]. Saatavilla: <https://www.youtube.com/watch?v=O0qQFwZ01Co>
- [50] Danny Mac 3D. Zbrush Hair Tutorial Part 1 – Breaking Down the Concept [Video]. Youtube. 10.8.2017 [viitattu: 27.3.2023]. Saatavilla: <https://www.youtube.com/watch?v=pYxbInmwSF8>
- [51] Naydenov Nikolay. New Course – Female Character Creation in Zbrush – Promo with link [Video]. Nexttut. Youtube. 29.5.2019 [viitattu: 10.5.2023]. Saatavilla: <https://www.youtube.com/watch?v=OJ3kUCdKjkQ>
- [52] thattori43movie. CB\_Skirt [Video]. Youtube. 22.8.2016 [viitattu: 15.5.2023]. Saatavilla: <https://www.youtube.com/watch?v=K2vcLoGBx-A>
- [53] Abbitt Grant. Retopoligise a Face – Retopology Guide – Blender 3 [Video]. Grant. Abbitt. Youtube. 20.1.2022 [viitattu: 15.5.2023]. Saatavilla: <https://www.youtube.com/watch?v=C249AnzAI40>