



LAHDEN AMMATTIKORKEAKOULU
Lahti University of Applied Sciences

DIGITAALINEN VEISTÄMINEN

ZBrush-veisto-ohjelma pelitaiteen työkaluna

LAHDEN
AMMATTIKORKEAKOULU
Tekniikan ala
Mediatekniikka
Tekninen visualisointi
Opinnäytetyö
Kevät 2014
Iiro Lääveri

Lahden ammattikorkeakoulu
Mediatekniikka

LÄÄVERI, IIRO:

Digitaalinen veistäminen
ZBrushveisto-ohjelma pelitaiteen työkaluna

Teknisen visualisoinnin opinnäytetyö, 32 sivua

Kevät 2014

TIIVISTELMÄ

Tämä opinnäytetyö tarkastelee erilaisia tapoja, miten ZBrushia voidaan hyödyntää pelitaiteen luomisessa. Työssä tutustutaan ensin ZBrush-ohjelman käyttöliittymään. Käyttöliittymän tärkeimmät valikot ja ohjelman työkaluja sekä niiden käyttöä käydään läpi vaiheittain.

Työssä tarkastellaan ohjelman erilaisia ominaisuuksia ja teknillisiä toteutustapoja hahmojen veistämiseksi, kovien pintojen luomisessa sekä ympäristöjen mallintamisessa. Lopuksi tarkastellaan Decimation master-toimintoa ZBrushissa, jonka avulla voidaan optimoida malleja.

Työssä tavoitteena on tuoda esille se, kuinka monipuolisesti ZBrushia voidaan käyttää eri pelialan visuaalisissa toteutuksissa. Artistit voivat hyödyntää ZBrushin työkaluja, ja se mahdollistaa lähes rajattoman määrän toteutustapoja erilaisten veistoksien luomiselle. Työssä esitellään vain osa ZBrushin toiminnoista, mutta niiden kautta lukija voi saada käsityksen ohjelman monipuolisista toiminnoista.

Asiasanat: 3D-mallinnus, digitaalinen veistäminen, pelitaide

Lahti University of Applied Sciences
Degree Programme in Media Technology

LÄÄVERI, IIRO:

Digital sculpting
ZBrush programme as a tool in game art

Bachelor's Thesis in Visualization Engineering, 32 pages

Spring 2014

ABSTRACT

This thesis inspects the methods in which ZBrush is used in the creation of game art. The interfaces most important menus and tools of ZBrush are explored.

The thesis explains ways in which characters, hard surfaces and environments are sculpted. In the end, a tool inside ZBrush called Decimation Master is explored. This tool can be used to optimize models.

The goal of the thesis was to present the importance of using a program like Zbrush, which has multiple usage possibilities in game art. Artists can use ZBrush's tools in many different ways, which opens possibilities for an almost endless range of sculpting creations. The thesis introduces only some of the tools, the ones that are presented provide a good general idea on how many different ways ZBrush can be used.

Keywords: 3D-modelling, digital sculpting, game art.

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	1
2	DIGITAALINEN VEISTÄMINEN	2
3	ZBRUSH-OHJELMA	4
3.1	Käyttöliittymä	5
3.2	Brushes	6
3.3	Strokes	8
3.4	Alphas	9
3.5	Masking	10
3.6	Polygroupit, polygroupien erilaiset luomistavat ja niiden hyödyntäminen	11
3.7	Hahmojen veisto	12
3.8	Vaatteiden veisto	15
3.9	Fibermesh ja hiukset	17
3.10	Hard edge-veistäminen	19
3.11	Clipping brushes-työkalujen käyttö	21
3.12	Veistäminen ympäristömalleissa ja -materiaaleissa	22
3.13	Polypaint	25
3.14	Retopologian teko ZBrushissa	26
3.15	Decimation Master	27
4	YHTEENVETO	29
	LÄHTEET	30

KÄYTETYT TERMIT JA LYHENTEET

Alphas	ZBrushin Alphas ovat harmaansävyisiä kuvia, joita käytetään pääasiassa siveltimien kanssa, muotojen mallinnukseen ja tekstuureiden maalaamiseen.
Beikkaus	3D-meshin informaatioita piirretään bittikartalle.
Brushes	ZBrushin lukuiset erilaiset siveltimet, joilla voi muokata polygonien muotoja mallin pinnassa.
Canvas document	ZBrush ohjelman piirtoalue.
Diffuse-map	Määrittää 3D-mallin pinnan alueiden värit. Ei sisällä varjoja tai kiiltoa.
Mesh	Kokoelma kolmioita (tai joissakin tapauksissa neliöitä) vierekkäin, joiden pinnat liitetään yhteen niiden reunoista. Mesh koostuu kolmesta osasta, joita kutsutaan face, edge ja vertice. (Petrovits & Canossa 2013.)
Rgb	Yleinen kuvatiedostojen käsittely väritila, jossa värit muodostetaan sekoittamalla punaista, vihreää ja sinistä.
Triangle	Kolmio tai kolmiot, joista 3D-mallit muodostuvat.
Unwrap	3D-mallin pinnat avataan 2D-kuvaksi.
3D- Plane	Litteä geometrinen taso 3D-avaruudessa.

1 JOHDANTO

Videopelit ovat eräs uusimpia ja isoimpia viihdemuotoja, ja pelien seurassa viihtyvän yleisömäärä tulee tulevaisuudessa yhä lisääntymään. Peliteknologian kehityksessä digitaalinen veistäminen on yleistynyt nopeasti ja kuluttajien odotukset pelien toiminnan sekä visuaalisuuden suhteen kasvaa. Videopelejä rahoitetaan nykyään myös esitilauksilla ja sijoittajat rahoittavat pelistudioita, joten myös pelien tekijöiltä vaaditaan vastinetta sijoitetuille varoille. (Guillaud, Hänninen, Mariot & Perret 2008, 96.)

Videopelien kehittäjillä on paljon haasteita, joihin heidän täytyy löytää ratkaisuja. Alan yhtenä suurimpana haasteena on rajoittunut taiteellinen ilmaisu, johon vaikuttaa teknologian mahdollistamat tavat tuottaa pelejä sekä kankeat visuaalisen ilmaisun työkalut. Pelien 3D-mallien mallintaminen on työtä ja aikaa vaativa prosessi. Lisäksi perinteisillä pintamallinnusohjelmilla, kuten 3ds maxilla tai mayalla, orgaanisten mallien mallintaminen on ollut haastavaa, koska nämä ohjelmat on suunniteltu enemmän suunnitteluinsinööreille kuin peliartisteille.

Työn tavoitteena on tutkia ja kokeilla ZBrushin käyttöä erilaisilla visuaalisilla osa-alueilla. Työssä tuodaan esille myös erilaisia ohjelman käyttötapoja, miten peliartistit voivat hyödyntää digitaalisen veistämisen uusia mahdollisuuksia pelitaiteen luomisessa. Opinnäytetyö rajataan Pixologicin ZBrush 4R6- ohjelmaan. ZBrush on yleisin pelialalla käytetty digitaalinen veistämisohjelma.

2 DIGITAALINEN VEISTÄMINEN

Digitaalinen veistäminen on hyvin samantapaista, kuin perinteinen saven veistäminen, mutta ilman saven veistämisen rajoitteita. 2000-luvun alkupuolella julkaistiin pelitaiteeseen hyödynnettäviä digitaalisia veistämishjelmistoja, jotka peliartistit adoptoivat nopeasti omaan prosessiinsa. Käyttöönnoton taustalla oli ohjelmistojen edullinen hinta sekä ohjelmien kautta saatavat uudet mallintamismenetelmät. (Johnson & Lanning 2013.)

Digitaalinen veistäminen on artisteille helpommin lähestyttävä digitaalinen taiteen tuottamisen muoto, koska ohjelmistoissa veistäminen toimii hyvin samaan tapaan kuin perinteinen veistäminen. Artistit, joilla on perinteistä taidekoulutusta tai osaamista perinteisestä veistämisestä, pystyvät yleensä nopeasti ymmärtämään digitaalisen veistämisen peruskäsitteet. Digitaalinen veistäminen mahdollistaa myös erittäin tarkkojen yksityiskohtien luomisen, jolla voidaan päästä photorealistiselle tasolle. Perinteisessä veistämisessä, photorealistiselle tasolle pääsemisessä voi olla hankaluuksia, mutta digitaalisessa ympäristössä veistämismateriaalit tai -skaala eivät aiheuta ongelmia. (Spencer 2008, 20.) Kuvassa 1 on esimerkki ZBrush-ohjelmalla, Avatar-elokuvaan, luodusta hahmosta. Elokuva sai Oscar-palkinnon visuaalisista tehosteistaan vuonna 2009.



KUVA 1. ZBrushilla luotu hahmo Avatar-elokuvasta (Shukrallah 2013)

Vuonna 2014 suosituimmat veistämishjelmat ovat ZBrush ja Mudbox. Useat elokuvat ja pelit ovat käyttäneet näitä ohjelmistoja, koska niiden avulla voidaan nopeuttaa sekä luoda entistä kehittyneempää taidetta elokuvaan ja peleihin. (Wikipedia 2014.)

Digitaalinen veistäminen ei mahdollista ainoastaan photorealisticen taiteen luomista, vaan auttaa myös artisteja monissa muissakin muodoissa, kuten materiaalien ja tekstuurien luonnissa, konseptoinnissa, 3D-skannattujen tiedostojen käsittelyssä ja siistimisessä. Isot pelistudiot, kuten Epic Games, ovat osoittaneet, että digitaalinen veistäminen on osana pelien koko taidetuotannossa. (Johnson & Lanning 2013.)

3 ZBRUSHOHJELMA

ZBrush on digitaalinen veistämisohjelma, jossa on mahdollisuus käyttää 3D- sekä 2.5D-mallinnusta. Ohjelmassa voidaan luoda myös tekstuureja. Ohjelma käyttää Pixologic Inc:n kehittämää pixol-teknologiaa. Pixolit ovat pisteitä, jotka sisältävät valaistus-, väri-, materiaali- ja syvyysinformaatiota. Ohjelmisto pystyy ajamaan ruudulla kymmeniä miljoonia aktiivisia pisteitä.

ZBrushohjelman luoja on Yhdysvalloissa toimiva Pixologic Inc. Yhtiön perustajia ovat Ofer Alon ja Jack Rimokh. Ensimmäinen demoversio ZBrushista julkaistiin 2002, viimeisin julkaisu ohjelmasta on ZBruhs 4R6, joka julkaistiin heinäkuun 26. päivä vuonna 2013. ZBrushohjelma on suunniteltu käytettäväksi Windows- ja Macintoshalustoilla. Tällä hetkellä Pixologic Inc. tarjoaa opiskelija- ja koululissensiversioniin ilmaiset päivitykset.

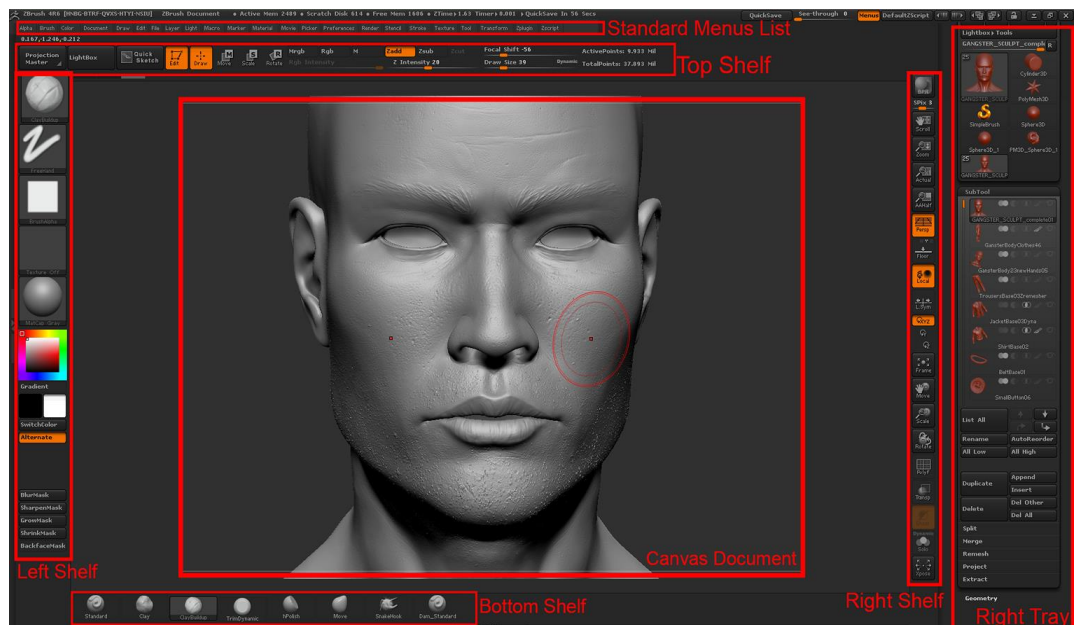
Verrattuna perinteisiin mallinnusohjelmiin, ZBrush on suunniteltu toiminnoiltaan hyvin erilaiseksi. Ohjelma on suunniteltu enemmän artistiystävällisemmäksi, jossa veistäminen toimii hyvin paljon samaan tapaan, kuin perinteinen saven veisto. Ohjelmalla on myös tuki digitaalisille piirtopöydille, jotka ovat välttämättömiä, jotta veistämistuntumasta saadaan mahdollisimman luonnollinen. Piirtopöydällä voi säädellä, millä paineella jälkeä syntyy veistosten pintaan. Veistettäessä ja maalattaessa piirtokynä on luonnollisempi työkalu kuin tietokoneen hiiri.

ZBrush on laajasti käytetty ohjelmisto monilla eri visuaalisen taiteenaloilla. ZBrushia on käytetty monissa lukuisissa elokuvissa, peleissä ja esimerkiksi mainoksissa. Esimerkiksi seuraavissa elokuvissa: Avatar, Elysium, Rango, The Avengers ja Pirates of the Caribbean. (Pixologic 2014a.)

3.1 Käyttöliittymä

Käytettävän PC-laitteen käyttöjärjestelmästä riippumatta, ZBrush 4R6 toimii 32-bittisessä tilassa, ja tästä syystä se ei pysty hyödyntämään kuin 4 Mb muistia. Tämä rajoittaa käsiteltävien triangeliin määrää sekä muita ohjelman toimintoja. Pixologic Inc. on ilmoittanut, että tuleva ZBrush 5 tulee olemaan 64-bittinen ohjelma ja näin ollen tukee suurempaa muistin määrää. (Pixologic SUPPORT 2011.)

ZBrushin käyttöliittymä koostuu erilaisista valikoista, standardimenusta, kahdesta Tray-valikosta, joista vasen on oletusarvoisesti piilossa, sekä shelf-valikoista. Shelfit sisältävät monia eri toimintoja, ja ZBrushissa käyttäjällä on mahdollisuus muokata näiden valikoiden sisältöä. ZBrushissa käyttäjä voi luoda myös omia valikoita, joihin hän voi itse sisällyttää muiden valikoiden toimintoja. Keskellä käyttöliittymää on Canvas Documentiksi nimetty alue, jolle ohjelma piirtää käsiteltävät mallit. Canvas documentin kokoa sekä monia muita canvaksen ominaisuuksia on mahdollista säätää Right Shelf-valikon kautta. (Pixologic 2014b.) Kuvassa 2 on näkymä ZBrushin käyttöliittymästä.



KUVA 2. ZBrush 4R6-käyttöliittymä ja sen osiot (ZBrush 4R6 2014)

3.2 Brushes

ZBrushin varsinaiset veistämistyökalut eli brushit sijaitsevat Left Shelfillä. Ohjelma sisältää monia erilaisia brusheja. Osa on suunniteltu käytettäväksi veistämisprosessin alkuvaiheessa ja toiset ovat tarkoitettuja loppupuolelle. Veistämisen alussa tarvitaan karkeampia ja suuremman alueen vaikutuksella toimivia brusheja ja loppupuolella hienovaraisempia, kun on tarkoitus luoda pikkutarkkaa jälkeä. Artistit voivat kuitenkin myös muokata ja käyttää eri brusheja haluamallaan tavalla. (ZBrush 4R6 käyttäjäopas 2013a.)

Brush-valikko tarjoaa myös brusheja, jotka mahdollistavat uuden geometrian luonnin sekä liikuttamisen. Näitä brusheja ovat esimerkiksi Insert Sphere, jolla voi luoda pallogeometrian tai Move Brush, jolla käyttäjän on mahdollista valita meshistä alue, jota haluaa venyttää tai liikuttaa rikkomatta meshiä. Move Brushia suositellaan lähinnä pienempien muutoksien tekemiseen, koska liiallinen meshin muokkaus vaikeuttaa veistämistä meshin geometrian venyessä erittäin hajanaisiksi.

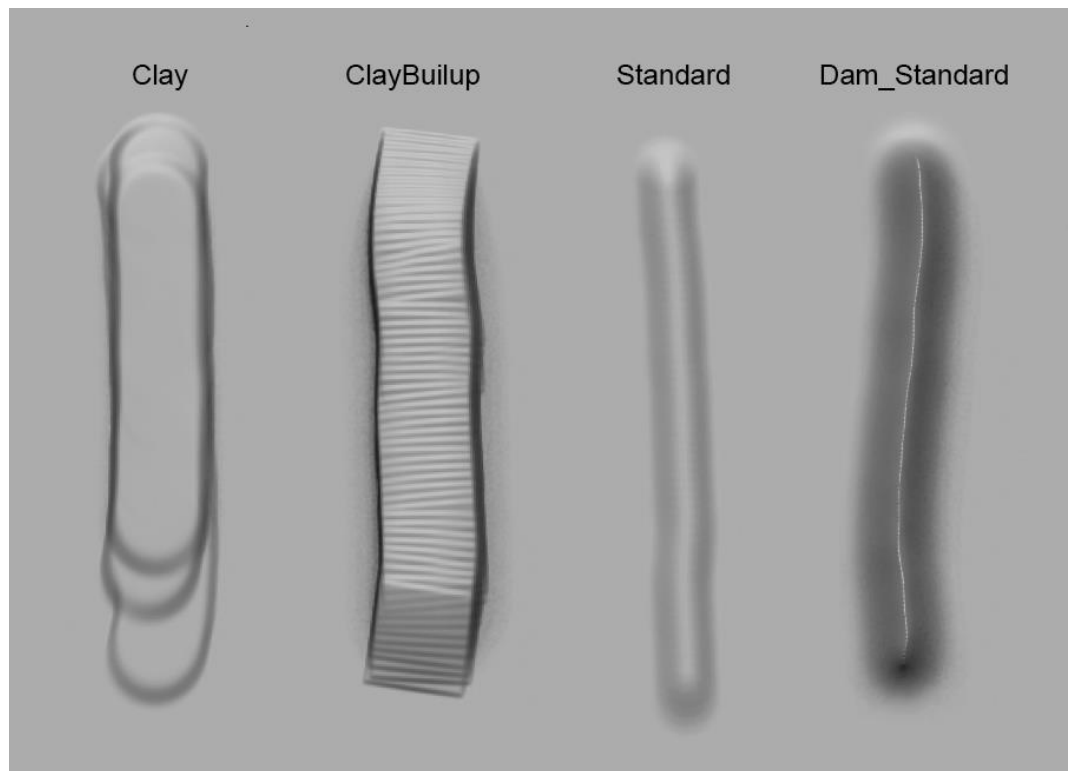
Brushien ominaisuuksiin on monia eri säätömahdollisuuksia. Käyttäjä voi vaikuttaa, kuinka suurelle alueelle brush tuottaa jäljen tai miten vahvasti jälki tuotetaan meshin pintaan. Säättöjen avulla voidaan päättää, tuotetaanko jälki ulospäin meshin pinnasta vai sisäänpäin meshissä. Näihin toimintoihin on mahdollista vaikuttaa Top shelfillä sijaitsevista painikkeista ja liukusäätimistä.

Tarkemmat ja laajemmat säätömahdollisuudet sijaitsevat Standard menu listin brush-valikossa. Käyttäjällä on mahdollista vaikuttaa myös siihen, mitä brush tuottaa meshin pintaan: väriä, tekstuuria vai syvyysinformaatiota tai samanaikaisesti materiaalia ja syvyysinformaatiota tai rgb:tä ja syvyysinformaatiota. Kuvassa 3 käyttäjä on valinnut Zadd-ominaisuuden, joka luo pinnan päälle lisää geometriaa, ja rgb:n joka luo samanaikaisesti haluttua väriä mallin pintaan. (ZBrush 4R6 käyttäjäopas 2013a.)



KUVA 3. ZBrushin asetuksia piirtämiselle (ZBrush 4R6 2014)

Brusheilla on mahdollista piirtää meshiin erilaisilla symmetriavaihtoehdoilla. Symmetriaa voidaan luoda meshiin monella eri kulmalla. Oletusarvoisesti symmetria luodaan ainoastaan vastakkaiselle puolelle meshiä. Symmetrian luomisen saa aktivoitua näppäimistön x-pikapainikkeella. Käyttäjillä on myös mahdollisuus luoda täysin omia brusheja sekä tallentaa ne ZBrushin Brush-valikkoon. Kuvassa 4 on malleja eri brushien tuottamasta jäljestä.



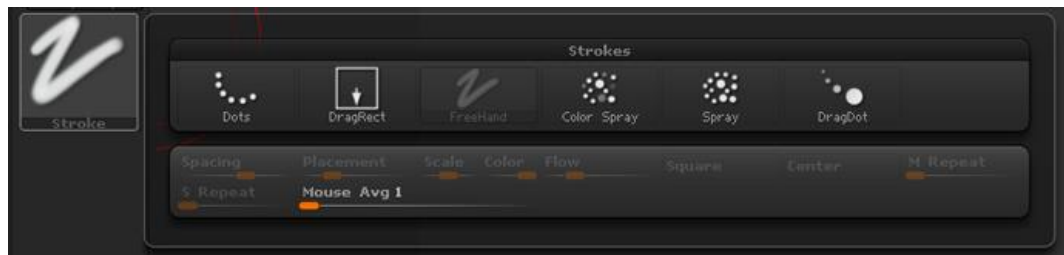
KUVA 4. Yleiskäyttöisiä brusheja ja niiden tuottamia jälkiä

3.3 Strokes

Stroket ovat brusheihin vaikuttavia piirtokäyttötymisiä. Ohjelmassa on kuusi erilaista strokea. Taulukossa 1 on esitelty stroket ja niiden ominaisuudet. Yleisimmin oletuksena brusheissa on valittuna Dots stroke tai FreeHand Stroke. Nämä stroke-vaihtoehdot toimivat hyvin samalla tavalla kuin kynällä piirrettäessä viivamaista jälkeä ja siksi niiden käyttö on luonnollisen tuntuinen artisteille. Kuvassa 5 on näkyvillä ZBrushin valikko, joka sisältää eri strokevaihtoehdot.

TAULUKKO 1. ZBrush ohjelman stroket (ZBrush 4R6 käyttäjäopas 2013b.)

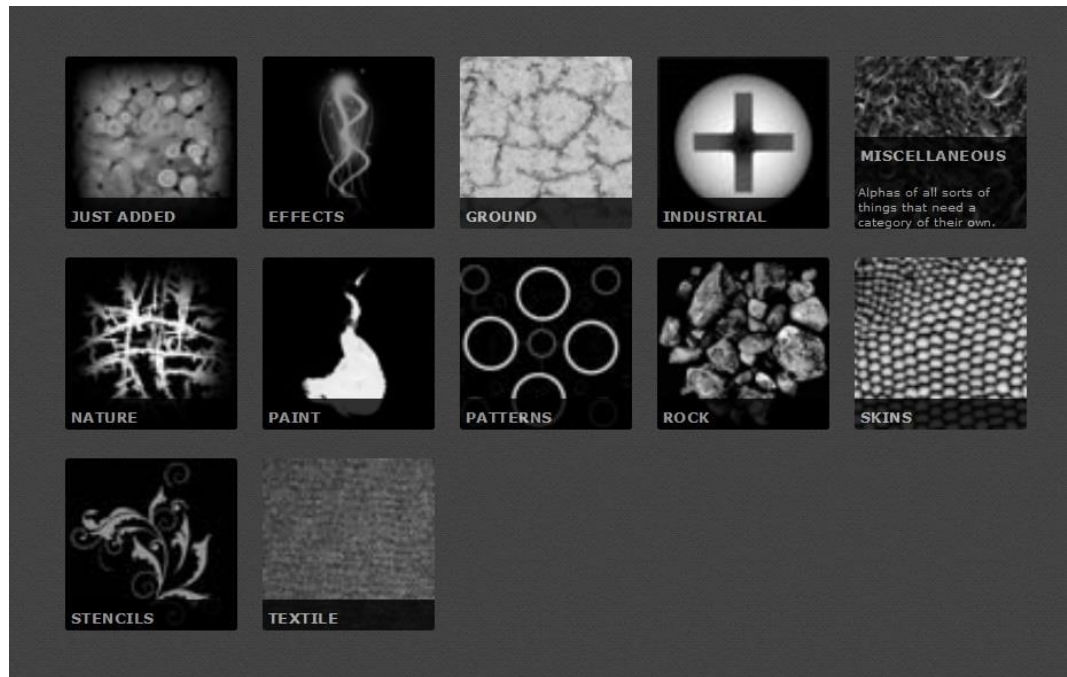
Stroke	Ominaisuudet
Dots stroke	Tuottaa brushin jäljen pistemäisesti, tuottaen brushin muutoksen meshiin ainoastaan tiettyin välein.
DragRect stroke	Aloittaa piirtämisen yhdestä valitusta pisteestä meshin pinnassa. Liikutettaessa hiirtä pois keskipisteestä jälki suurenee ja kiertyy haluttuun suuntaan.
FreeHand Stroke	Toimii hyvin samalla tavalla kuin Dots Stroke, mutta ilman pistemäistä väliä brushin jäljessä.
Color spray stroke	Toimii spray maalauksen tapaan. Se levittää brushin jälkeä valitulla alueella pisteittäin sekä sisällyttää eri vahvuuden jokaiselle pisteelle.
Spray Stroke	Toiminnoiltaan samanlainen kuin Color Spray, mutta ilman pisteiden vahvuuden vaihtelua.
DragDot Stroke	Luo brushin jäljen meshiin valitulla brushin vaikutusalueella sekä mahdollistaa tämän luodun jäljen uudelleen sijoittamisen meshin pinnalla.



KUVA 5. ZBrushin Stroke vaihtoehdot (ZBrush 4R6 2014)

3.4 Alphas

Alphas ovat brushien piirtojälkeen vaikuttavia harmaasävyisiä kuvia. Brush luo meshin pintaan jäljen alphan mukaan. Alphakuvan valkoiset ja vaaleat alueet päästävät brushin jäljen läpi, ja mustat alueet eivät päästä jälkeä läpi lainkaan. ZBrush sisältää monia valmiita alfoja. Käyttäjän on mahdollista luoda myös omia alfoja ja lisätä nämä ZBrushin alphavalikkoon. Esimerkiksi vaatteiden pintaan on helppoa luoda pintatekstuuria toistuvalla alphakuviolla. ZBrush tarjoaa sivustollaan lukuisia ilmaisia alphakuvia käytettäväksi ZBrushiin. Artistien on myös helppoa luoda alphakuvia itse, erillisessä piirto-ohjelmassa. Kuvassa 6 on nähtävillä ZBrushin download centerin alphavalikko, josta artisti voi ladata valmiiksi luotuja alfoja.



KUVA 6. ZBrush Alphaoja (Pixologic 2014c)

3.5 Masking

ZBrushissa masking tai maskeeraaminen mahdollistaa meshin maskeerattujen pisteiden suojelemisen muutoksilta. Maskeeratut alueet ilmenevät tummennettuina muuhun meshin pinnan väriin verrattuna. Maskeeraaminen on mahdollista toteuttaa monilla eri tavoilla, esimerkiksi vetämällä neliskanttisen maskialueen meshiin tai piirtää maskialue lasso-työkalulla tai käyttämällä curve-maskeerausta. Curven piirtämisen aloittamiskohdan perusteella vasen puoli curven viivasta maskeeraa ja oikea puoli ei. Kuvassa 7 on vasemmalla puolella piirrettyä suora Curveviiva ja oikealla sen tuottama lopputulos.



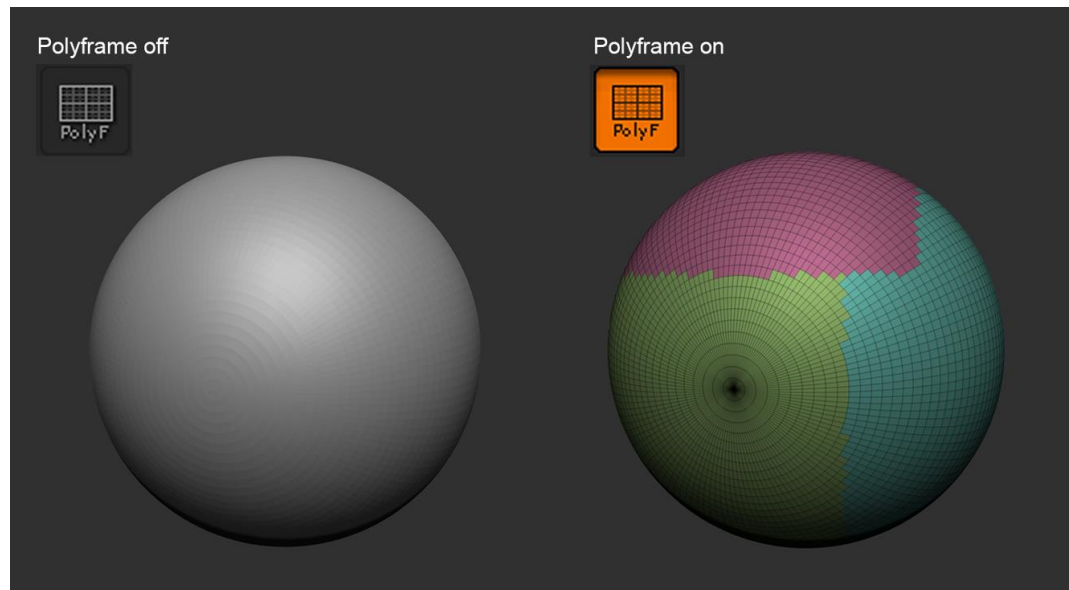
KUVA 7. Curve-maskeerauksen toiminta

Maskeerattuun alueeseen on mahdollista vaikuttaa Right trayltä löytävästä masking-valikosta. Maskeerattua aluetta voi muokata monin eri tavoin: maskeeratun alueen reunoja voi terävöittää tai pehmentää, lisäksi aluetta voi laajentaa tai kutistaa. Valikosta löytyy myös mahdollisuus maskeerauksen luomiseen kaviteettien sekä varjojen luomille alueille automaattisesti. Tämä on erittäin hyödyllistä, kun halutaan esimerkiksi maskeerata pieniä yksityiskohtia.

3.6 Polygroupit, polygroupien erilaiset luomistavat ja niiden hyödyntäminen

Polygroupit ovat ZBrushissa alueita, jotka voivat toimia siten, että ne eivät ole sidoksissa muihin meshin alueisiin. Polygroupit mahdollistavat mallin jakamisen moniin eri alueisiin, joita on tarvittaessa mahdollista piilottaa tai maskeerata nopeasti. Polygroupien alueiden meshin resoluutiota voidaan nostaa korkeammaksi vaikuttamatta muuhun meshiin. Tämä on hyödyllistä esimerkiksi hahmojen veistossa, kun muotoillaan silmien lähialuetta, jossa tarvitaan paljon pieniä yksityiskohtia.

Polygroupien muodostuminen meshin pinnassa on mahdollista nähdä polyframe-painikkeella, joka näyttää meshin verkoston sekä polygroupit erivärisinä alueina. ZBrushista ulos tuodussa meshissä polygroupit ovat toisistaan erillisinä, irti leikattuina objekteina. Kuvassa 8 on esillä Polyframe-painikkeen toiminta sekä polygroupien muodostuminen.



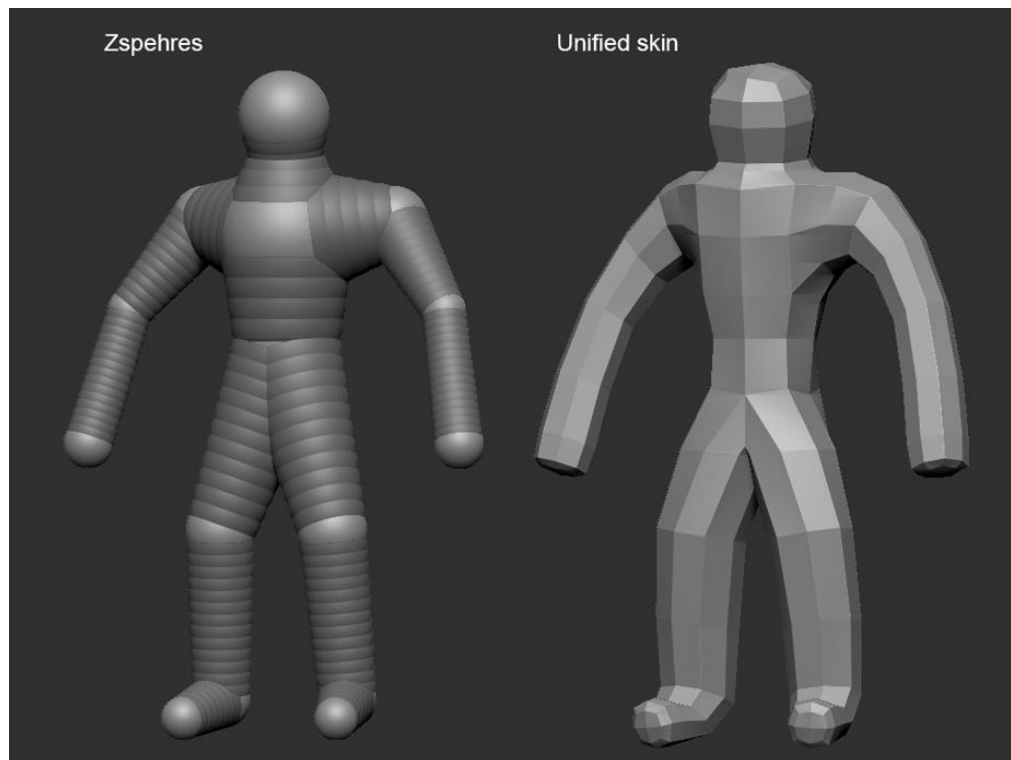
KUVA 8. Polyframe painikkeen toiminta sekä polygroupien muodostuminen (ZBrush 4R6 2014)

3.7 Hahmojen veisto

ZBrushissa on monia erilaisia vaihtoehtoja hahmojen veistoon. Toteutustapa riippuu artistin omasta mieltymyksestä. ZBrushiin on mahdollista tuoda valmiiksi mallinnettua basemesh, joka on tehty pintamallinnusohjelmalla tai aloittaa hahmon luominen ZSphereillä sekä muokkaamalla valmista ZBrushin primitiivi muotoa, kuten sphereä.

Jokainen artisti luo hieman erilaisia basemeshejä, mutta yleisenä sääntönä on, että malli muodostuisi selkeistä neliskulmaisista polygoneista, koska veistämishelmien on helpointa jakaa näitä pienempiin osiin, ilman pinnalle muodostuvia vääristymiä.

ZSphereillä aloitettaessa hahmo luodaan, asettamalla ZSpherejä viewportille. ZSpheret ovat palloja, jotka ovat liitoksissa toisiinsa. Hahmosta tehdään yleensä tikku-ukkopiirrosta muistuttava rakennelma, mutta artistin halutessa kuva voidaan rakentaa jopa lihassäikeiden tarkkuudella. Kun artisti on rakentanut ZSpheret haluamallaan tavalla, tulee hänen käyttää Unified skin-toimintoa, jolla ZBrush muuntaa ZSpheret ja niiden liitokset veistettäväksi meshiksi. Kuvassa 9 oikealla on ZSphereillä luotu hahmotelma ja vasemmalla veistettävä mesh, joka on saatu Unified skin-työkaluilla ZSphereistä.



KUVA 9. Hahmojen luonti ZSphereillä (ZBrush 4R6 2014)

Kolmas tapa, jossa aloitetaan ZBrush primitiivistä, toimii käyttämällä move tool-, snake hook- sekä claybuildup-brusheja. Näillä muokataan esimerkiksi sphere3D-primitiivin ulkoasua. Primitiivissä on vain rajallinen määrä muokattavia pisteitä, ja siksi prosessissa käytetään yleensä Dynamesh-toimintoa.

Dynamesh luo veistetystä meshistä uuden meshin, joka yhdistää erilliset objektit yhdeksi samaksi meshiksi sekä jakaa käsiteltävät pisteet tasaisemmin koko meshissä. Kun artisti on luonut primitiivin haluamaansa muotoon, tulee primitiivi retopotogiloida. Retopotogiointi voidaan tehdä joko erillisessä ohjelmassa tai ZBrushin omalla retopologia työkalumenetelmällä tai hyödyntämällä uutta ZBrushin ZRemesheriä.

Kasvoja veistettäessä on suositeltavaa jakaa silmät ja suu erillisiin polygroupeihin. Suussa on myös suositeltavaa jakaa ylä- ja alaosat omiin polygroupeihin, jotta suun sisäpuoli on helpommin käsiteltävissä. Kuvassa 10 on esitetty Jon-Troy Nickelin malli polygroupien muodostamisesta kasvoissa.



KUVA 10. Esimerkki polygroupien muodostaminen kasvoissa (Nickel 2012, 32)

ZBrushilla veistäminen tulee aloittaa pienellä polygonimäärällä, koska tämä helpottaa siluetin ja isojen alueiden muokkaamista. Liian korkealla polygonimäärällä veistettäessä reunoja ja pintoja on vaikeaa saada sileäksi. Jos mesh sisältää usean subdivisionin eli polygonien jakoja pienempiin osiin tietyllä määrällä kerrottuna, smooth brush ei vaikuta kunnolla pienempään subdivisioniin, vaan tasoittaa ai-noastaan pieniä yksityiskohtia meshin pinnassa. Smooth brushin avulla saadaan liian terävät muodot häivytettyä sekä sulautettua muotoja yhtenäiseksi kappaleeksi. (Spencer 2008, 23.)

Scott Spencer (2008, 25) antaa kirjassaan lukuisia hyviä ohjesääntöjä, jotka toimivat digitaalisessa veistämisessä:

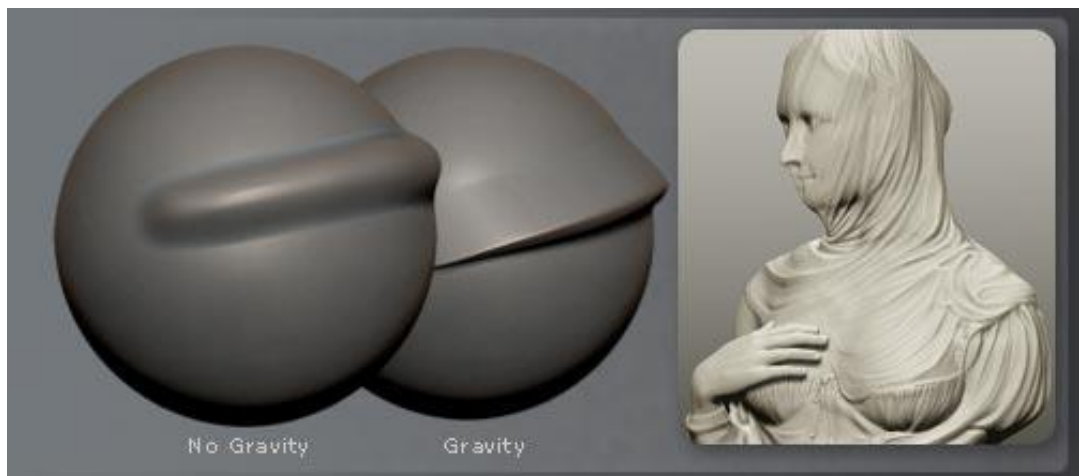
- Työskentelyn kulku aloitetaan isosta pieneen, keskittymällä ensin perusmuotoihin ja vasta myöhemmin viimeistellään yksityiskohdat.
- Valon paikkaa tulee vaihtaa usein, jotta voidaan nähdä, miten varjot muodostuvat.
- Jokaista lihaksen muotoa ei ole tarvetta hahmottaa, koska jotkin muodot kuuluvat olla häivytetympiä.
- Veistosta rakennetaan kerrosmaisesti häivyttämällä muotoja ensin pohjalle ja myöhemmin tuomalla niitä esiin.
- Käyttämällä iso kokoisia brusheja voidaan helpommin luoda isoja muotoja ja välttää takertumasta, tarpeettomasti pieniin yksityiskohtiin.
- Työskentely aloitetaan pienellä meshin resoluutiolla. Tämä auttaa keskittymään isoihin muotoihin yksityiskohtien sijaan.
- Veistosta tulee pyörittää kuvaruudulla usein. Työskentelyssä pyritään tekemään työtä yhtäaikaaisesti monilla eri alueilla. Hahmon päätä ei tulisi viimeistellä ennen käsivarsia, koska jokaisen osan tulisi olla samalla valmius tasolla.

3.8 Vaatteiden veisto

Vaatteiden veistäminen on artisteille eräs haasteellisempia tehtäviä. ZBrushin brushit mahdollistavat kankaiden luomisen. Vaatteiden veistämisessä käytettävät brushit valikoituvat artistin omien mieltymysten mukaan.

Vaateryppejen veistämiseen voidaan käyttää neljää eri työkalua. Näitä ovat ClayBuildup- tai Claybrush. Ne ovat brusheja, joilla saadaan luotua alustavat vaateen muodot ja rypyt. Teräviä yksityiskohtia kankaaseen voidaan luoda Dami-

an standartbrushilla. Pinch-työkalu on myös hyödyllinen, sillä on mahdollista terävöittää kaviteetteja ja muita huippukohtia meshissä, tiivistämällä meshiä piirrettyllä alueella. Näiden työkalujen lisäksi artistit voivat myös räätälöidä näitä brusheja omien mieltymysten mukaan, kuten lisäämällä brushiin painovoimaominaisuuden, jolloin brush luo enemmän massaa maahan päin. Kuvassa 11 on nähtävissä, miten painovoima vaikuttaa brushin jälkeen.



KUVA 11. Painovoiman vaikutus brushissa (Dadela 2014)

Vaatteiden veistämiseksi voidaan hyödyntää myös 3D-skannausta. Skannereiden hinnat ovat tulleet edullisemmiksi, jolloin tämä on tullut mahdolliseksi, yhä useammalle käyttäjälle. Vertex 2 e -kirjassa Emil Mujanovic kirjoittaa Microsoft Kinectistä, jonka voi muuntaa edulliseksi 3D-skanneriksi. Skannattuja vaatteita tulee yleensä jälkikäsitellä erittäin paljon, mutta isojen ryppyjen ja muotojen pohjan saa vaatteille nopeammin kuin aloittaen kokonaan alusta. Emil Mujanovic listaa monia 3D-skannauksen hyötyjä: opetustarkoitukset, viitemateriaalin luonti, lihaskuivumisen saaminen taitoksien jälkikäsitteilyn yhteydessä, ilmainen pohja, joka säästää aikaa veistämisen alkuvaiheissa, realistiset taitokset ja ajan säästö. (Mujanovic 2014, 224 - 228.)

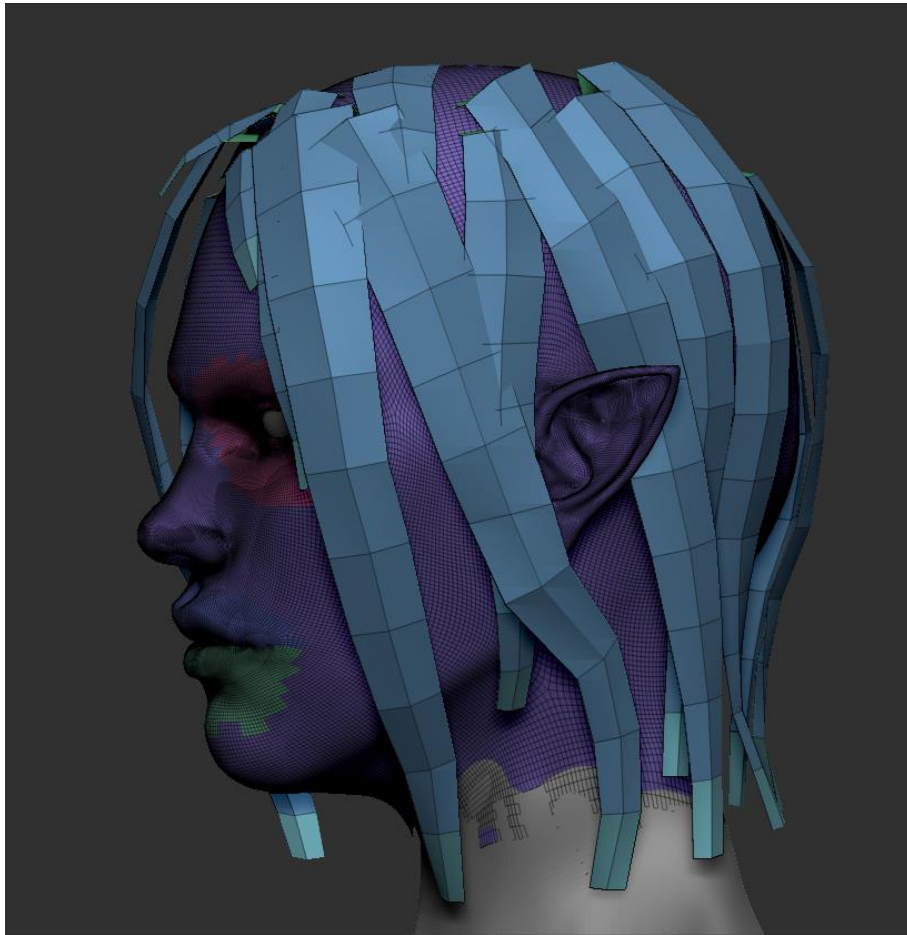
3.9 Fibermesh ja hiukset

ZBrush 4R3 lisäsi ohjelmaan FiberMesh-työkalun, jolla artistien on mahdollista luoda ja muokata hiuksia tai muita kuituja reaaliajassa. Tällä hetkellä pelit eivät pysty reaaliaikaiseen renderöintiin, kun ruudulla on tuhansien hiuskuitujen massa. Artistit voivat beikata ZBrushissa luotuja hiuksia tavallisemmin pelihahmoilla käytettyihin hiusplaneihin. Beikkauksessa piirretään unwrapatuille, peleihin soveltuville malleille, korkean polygonimäärän omaavan mallin pinnan muotoja. Etuna ZBrushin FiberMesh-hiuksien beikkauksessa on se, että artistit saavat suoraan normal mapin, opacity alphakartan tai muita mahdollisia beikattavia karttoja. Tällä toiminnolla voidaan vähentää erilaisia työvaiheita. Kuvassa 12 pelihahmolla on edellä mainitulla tekniikalla luotuja planarhiuksia.



KUVA 12. Marmoset 2-ohjelman sisällä oleva hahmo, jolla on planarhiuksia, joihin on beikattu fibermeshillä hiuksien muodot. (Marmoset Toolbag 2 2014)

Pelihakmoille tarkoitettuja planaarisia hiuksia pystyy myös luomaan ZBrushissa, käyttämällä ZBrushin IMM brushia, eli Insert Multi Mesh brushia. IMM brushit luovat toistuvasti geometrisia kappaleita veistoksen pintaan. IMM brusheja on myös mahdollista luoda itse. Brushia luotaessa asetetaan alku-, keski- ja loppupalat brushille. Planaarisia hiuksia varten IMM Brushille on helppoa luoda pelkkiä yhden polygonin kokoisia alku-, keski- ja loppupaloja. Käyttämällä IMM brushin yhteydessä ZBrushin Curve-toimintoa on mahdollista luoda käyriä, joissa käyttäjän luomat IMM brushin palat toistuvat käyrän mukaisesti. IMM keskipala toistuu loputtomasti piirretyn käyrän pituuden tarpeen mukaisesti, alkupala esiintyy kerran käyrän alussa ja loppupala lopussa. Curve modifier-valikon avulla käyttäjät voivat myös säätää brushin jäljen leveyttä eri kohdissa käyrässä. Hiuksia luodessa artistit yleensä asettavat hiusten juurien alueen leveämmäksi ja loppuosan ohuemmaksi. Artistit voivat myös asettaa jokaisen hiusplanen omalle polygroupille, jolloin niitä voi muokata helposti yksittäisesti. Brush-valikon kautta on mahdollista asettaa automaattinen maskeeraus polygroupien perusteella, joka nopeuttaa hiuksien muokkausta, sen sijaan, että itse maskeeraisi aina osan hiuksista, joita ei halua muokata. (Cahill 2014.) Kuvassa 13 on IMM brushilla luotuja hiusplaneja.



KUVA 13. Kuvassa ZBrushin IMM brushilla luotuja hiusplaneja (ZBrush 4R6 2014)

3.10 Hard edge-veistäminen

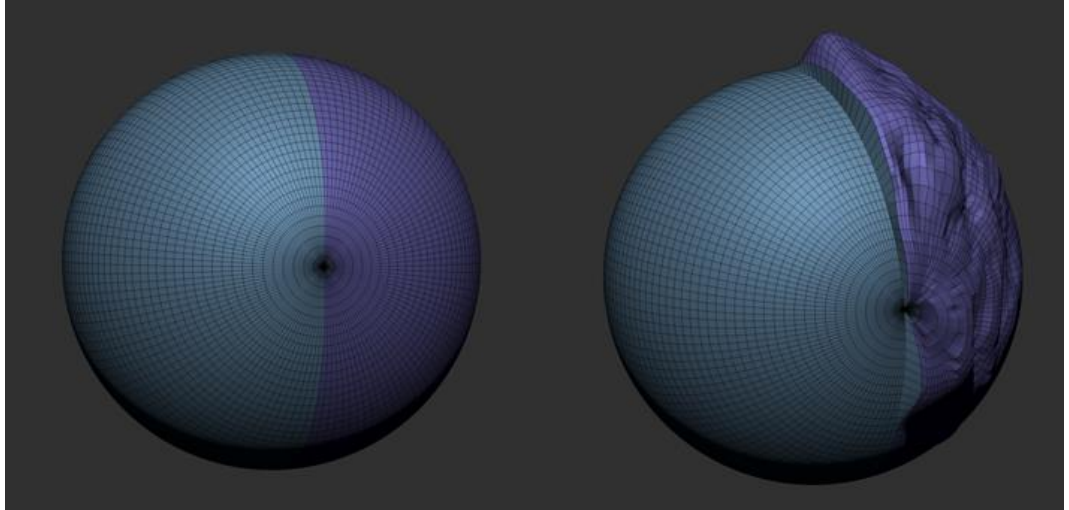
ZBrushissa on mahdollista Hard edge-veistäminen eli kovien kulmien tai pintojen veistäminen. Hard edge veistäminen on hitaampaa ZBrushissa verrattuna perinteisiin mallinnusohjelmien tekniikoihin, mutta veistäminen mahdollistaa nopeamman muotojen konseptoinnin.

Konseptointi on usein karkeaa. Alkuvaiheessa ei luoda mallin kovia pintoja lopulliseen terävyyteensä. Yksi tapa siirtyä pois tästä karkeasta konseptointivaiheesta on käyttää ZBrushin tai muun ulkoisen ohjelman retopologian luomistyökaluja. Retopologialla artistit pystyvät piirtämään mallin pinnalle uuden meshin. Tällä tavalla artistit saavat muokattavat vertekstit juuri niihin kohtiin,

joihin he itse ne haluavat. Usein alkuperäisessä meshissä on myös liian paljon polygoneja ja verteksejä, ja se ei tee meshin muokkaamisesta helppoa. Liian monien verteksien yhtäaikainen kontrollointi on haastavaa. Retopologialla konseptoiduista muodoista saadaan helpommin kontrolloitavia meshejä ja varmistutaan, että kulmat ja reunat menevät juuri niille valituille linjoille. Jollei näin tehdä, reunoille kehitty helposti sahalaitaisuutta, koska konseptoinissa luodut muodot voivat sisältää, esimerkiksi vinottain meneviä edgejä reunoilla. (Wilkinson 2014.)

Jos Hard edge-veistämisessä ei haluta hyödyntää uudelleen luotua retopologiaa, on käytettävä brusheja, kuten TrimDynamicia, TrimAdaptivea, hPolisha ja Flatte-
nia. Nämä brushit ovat suunniteltuja luomaan ja tasoittamaan pintoja tasaisiksi. TrimDynamic-brush poistaa tehokkaasti epätasaisuuksia, ja sillä on hyvä luoda alustavat kovat pinnat. hPolish on huomattavasti TrimDynamic-brushia hienov-
raisempi, ja sitä on hyvä käyttää myöhemmin pienienkin epätasaisuuksien pois-
toon. (Jensen 2011.)

Polygroupit ovat suurena apuna Hard edge-veistämisessä. Polygroupien raja-
alueelle on mahdollista veistää terävä reuna, kun meshi jaetaan polygrouppeihin. ZBrushin Auto Masking-valikossa on mahdollista, maskeerata automatisoidusti polygroupien perusteella, jolloin ainoastaan se polygrouppi, johon aloitetaan veis-
tämään, pystyy muuttumaan. (Jensen 2011.) Kuvassa 14 on nähtävillä tästä esi-
merkki.

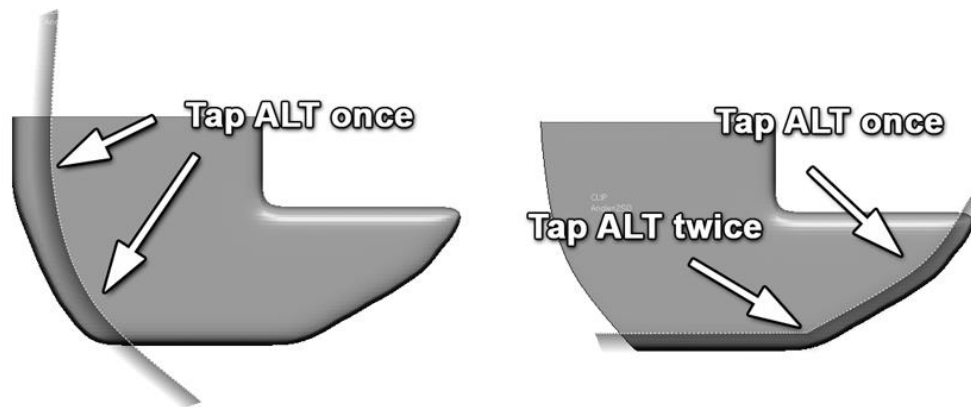


KUVA 14. Vasemmassa kuvassa veistämässä on käytetty polygroupien perusteella tapahtuvaa automaattista maskeerausta (ZBrush 4R6 2014)

3.11 Clipping brushes-työkalujen käyttö

Clipping brushit toimivat ZBrushissa hyvin paljon pyyhekumin tapaan, niillä on mahdollista leikata paloja pois 3D-mesheistä. Clipping Brushit eivät muokkaa meshien geometriaa, vaan siirtävät olemassa olevat meshin reunat uudelle leikatulle reunalle.

Monipuolisin clip-brush on Clip Curve. Tällä brushilla pystyy oletuksena tekemään täysin suoria leikkauksia, mutta käytettäessä alt-painiketta brushilla piirretäessä, on mahdollista luoda kaartuvia leikkauksia sekä teräviä kulmia. Kuvassa 15 on havainnollistettu Alt-painikkeen käyttö. Painamalla yhden kerran Alt-painiketta voidaan aloittaa viivan kaartuminen. Painamalla Alt-painiketta kaksi kertaa pystytään luomaan terävä kulma. Kaikkia Clipping brusheja on myös mahdollista liikuttaa haluttaessa eri paikkaan leikattavan alueen piirtämisen jälkeen spacebar-painiketta pohjassa pitämällä.



KUVA 15. Clip Curven toiminta (ZBrush 4R6 käyttöopas 2013)

Toinen Clip-brush on Clip Circle. Tämä brush tekee ympyrän mallisia leikkauksia. Brushilla ei kuitenkaan pysty luomaan uusia reikiä keskelle meshiä, vaan brushia tulee käyttää ulkoreunoilla. Clip Circle Center on kolmas clipping brush. Tämä brush toimii hyvin samalla tavalla kuin edellinen Clip Circle brush paitsi, että ympyrät ovat aina täysin pyöreitä, eikä niitä pysty venyttämään tiettyyn suuntaan. Viimeisenä Clipping brushina on Clip rectangle brush. Tämä brush tekee leikkauksen neliön muotoisena ja toimii muuten samalla tavalla kuin Clip Circle brush. (ZBrush 4R6 käyttöopas 2013c.)

ZBrush sisältää clipping brushien lisäksi Trim brusheja, jotka toimivat hyvin samoilla tavoilla, kuten clipping brushit, mutta trim brushit eivät siirrä topologiaa uusille leikatuille reunoille, sen sijaan ne poistavat leikattavien alueiden geometrian täysin. Trim brushit myös luovat leikatun alueen pinnan geometrian kokonaan uusiksi sekä laittavat ne automaattisesti erilliseen polygrouppiin. (ZBrush 4R6 käyttöopas 2013c.)

3.12 Veistäminen ympäristömalleissa ja -materiaaleissa

Ympäristöjen luomisessa digitaalinen veistäminen on tuonut merkittäviä kehityskaskelia erityisesti orgaanisiin tai muihin luonnossa esiintyviin muotoihin. Esimer-

kiksi kiven, puun ja metallin veistämiseen saa huomattavasti lisää yksityiskohtia ja mielenkiintoisia muotoja digitaalisenveistämisen avulla. Kuvassa 16 on Rogelio Olguinin luoma ympäristö The Last of Us-peliin. Ympäristön elementeissä on hyödynnetty paljon ZBrushia.



KUVA 16. The Last of Us-peliin veistettyjä ympäristömalleja (Olguinin 2013)

Materiaalien veistäminen on usein hyvä aloittaa ZBrushissa valmiilla harmaasävyisellä korkeuskarttakuvalla. Tällä saadaan hyvä pohja erityisesti orgaanisille materiaaleille, joissa halutaan epäsäännöllisyyttä. Korkeuskarttakuva on hyvä olla valmiiksi saumattomasti toistuva. Korkeuskarttakuvasta voidaan poistaa saumat helposti esimerkiksi käyttäen adobe photoshopissa offset-työkalua. (Davies 2011.)

ZBrushissa materiaalin luominen aloitetaan yleensä käyttämällä plane 3D-meshiä. Tämä jaetaan miljoonien pisteiden tarkkuudella tarkemmaksi, jotta piirrettäessä materiaalin pintaan jälki on tarkkaa eikä pikselöitynyttä. 3D-plane myös Unwrapataan unwrap planar-toiminolla. ZBrushissa tämä toiminto löytyy UV Map-valikosta ja tässä valikossa Create-alavalikosta Uvp-nimellä olevasta painikkeesta.

ZBrushissa harmaasävyisen korkeuskartan pystyy lisäämään 3D-planeen displacement map-valikon avulla. 3D-panelle on mahdollista lisätä erillisiä 3D-elementtejä, esimerkiksi maamateriaaleihin erilaisia kiviä.

Käyttämällä tiling- liikuttamista ö-painikkeella voidaan nähdä, miten materiaali toistuu. Frame-painikkeen avulla plane 3D täyttää koko viewport canvaksen. (Davies 2011.)

ZBrushin tool-valikosta löytyvällä MRGBGrabberillä on mahdollista kaapata luodusta materiaalista, displacement- ja diffuse-kartta. NormalRGBMatGrabberilla on mahdollista kaapata normal-kartta. On myös mahdollista viedä 3D-plane ulos ZBrushista ja käyttää esimerkiksi Xnormalohjelmaa karttojen kaappaamiseen. (Davies 2011.)

Jotta materiaalista saadaan ambient occlusion eli malliin pinnoille piirtyvät varjoalueet, täytyy luoda uusi tyhjä 3D-plane. Tähän lisätään vastakaapattu korkeuskartta. Meshille valitaan Flat Colormateriaali ja canvas renderöidään BPR (physically based rendering)- toiminnolla. Näin saadaan aikaiseksi ambient occlusion karttamateriaalille. Halutessa artisti voi kaapata myös erilaisia materiaali effektejä meshistä. (Davies 2011.) Kuvassa 17 esimerkki kivimateriaalista, jonka on tehnyt Fanny Vergne Blizzard Entertainmentin World of Warcraft-peliin.



KUVA 17. Ympäristömateriaaleja (Vergne 2013)

3.13 Polypaint

ZBrushissa voidaan maalata meshin pintaan. Ohjelmassa maalaaminen toimii hyvin samalla tavalla kuin perinteisissä mallinnusohjelmissa suoritettava vertex-maalaukset. Maalausinformaatio tallentuu malliin myös vertex-maalauksen tapaan ja maalaus on mahdollista beikata uv-kartalle. Maalauksen voi myös tehdä ZBrushissa, jo valmiiksi uv-kartan omaavalle mallille.

Maalaus tapahtuu brush-työkalulla, kun rgb-tuottaminen brushilla on aktivoitu. Meshille maalaamisen aikana on suositeltavaa vaihtaa mallille jokin vaalea materiaali. Monet artistit vaihtavat maalauksen aikana mallille Flat Color-materiaalin, joka estää varjojen piirtymisen, sekä näyttää meshin todellisina värisävyinä, ilman materiaalien lisäämiä efektejä. Kuvassa 18 on kuvattuna nämä kaksi eri materiaalia saman polypaintatun mallin päällä.



KUVA 18. Polypaintattu hahmo. Vasemmalla ZBrushin SkinShade4 materiaalilla ja oikealla Flat Color materiaalilla (ZBrush 4R6 2014)

3.14 Retopologian teko ZBrushissa

ZBrush tarjoaa kaksi erilaista tapaa retopologian tekemiseen. ZSpheren avulla retopologian luonti toimii siten, että artisti määrittää pisteet ja kaaret, jotka muodostavat uuden meshin alkuperäisen mallin pinnalle. ZBrush 4R6 mukana tullut ZRemesher puolestaan toimii automatisoidusti.

Retopologian luonti ZSpheren avulla aloitetaan lisäämällä ZSphere subtooliksi käsiteltävään high poly meshiin. Kun ZSphere on valittuna, aktivoidaan right

trayllä sijaitsevassa Topology-valikossa Edit Topology-painike. Artisti voi nyt hiiren vasemmalla painikkeella asettaa vertex-pisteitä high poly mallin pinnalle.

Vertexsien välille voi luoda edgejä painamalla hiiren vasenta- ja ctrl-painiketta. Painamalla a-pikanäppäintä, joka vastaa Adaptive skin-valikon preview-painiketta, voidaan tarkastella ennakkoon, miten hyvin ZBrush kaappaa luotuun retopologiaan high polyn muodot ja yksityiskohdat. Right trayllä sijaitsevan Topologia-valikon PreSubdivi-säätimellä pystyy vaikuttamaan, kuinka monta kertaa ennakkonäkymän topologia jakaantuu pienempiin osiin. Näin on mahdollista nähdä pienemmätkin, kaapatut yksityiskohdat.

ZRemesherin löytää ZBrushissa right trayltä, Geometria-valikossa. ZRemesherillä on mahdollista määrittää Target Polygons count-liukusäätimen avulla, kuinka paljon ZRemesherin luomassa meshissä on polygoneja. ZRemesherin topologian luomiseen on myös mahdollista vaikuttaa polypaintilla ja kaarilla. Polypaintin avulla on mahdollista maalata high poly meshiin alueita, joihin halutaan enemmän polygoneja. High poly meshiin voi myös ennakkoon piirtää kaaria, jotka ohjailevat ZRemesherin luomaa topologiaa. Kaaria piirtävän työkalu sijaitsee Brush-valikossa, nimellä ZRemesherGuides. Kaarien vaikuttavaa voimakkuutta on mahdollista säädellä ZRemesherin-valikossa. ZRemesherillä tehtäessä tulee ongelmia topologian luomiseen alueissa, joissa on teräviä epätasaisuuksia pinnassa. Näiltä ongelmakohdilta voidaan välttyä käyttämällä smooth brushia ja tasoittamalla ongelma-alueet ennen ZRemesherin toiminnon suorittamista. (Kingslien 2013.)

ZBrushin ZSphereillä luotava topologia on rajoittunut verrattuna moniin muihin ohjelmistoihin, mutta toisaalta ZRemesher on erittäin kilpailukykyinen automaattisesti topologiaa luova toiminto. Vastaavia automaattisesti topologiaa luovia työkaluja on esimerkiksi 3D Coat-ohjelmalla.

3.15 Decimation Master

Decimation Master on ladattava lisäosa ZBrushiin, joka mahdollistaa meshien optimoimisen. Decimation Masterilla mallista voidaan vähentää miljoonia pisteitä, ilman huomattavaa eroa, miljoonan ja tuhannen pisteen sisältävän meshin välillä. Decimation Master antaa käyttäjän valita prosenteissa tai tuhansien polygonien

määrässä, kuinka paljon haluaa karsia käsiteltävää meshiä. Decimation masterin avulla artistit pystyvät viemään decimoidun meshin toiseen ohjelmaan, jotka eivät normaalisti pystyisi käsittelemään miljoonien polygonien meshejä. On huomioitavaa, että suoritettaessa decimation master, meshin topologia muuttuu radikaalilla tavalla. Meshi triangiloituu, ja meshin tiheys kasvaa, niillä alueilla, missä tarkkuutta tarvitaan enemmän. Kuvassa 19 vasemalla alkuperäinen high poly mesh ja vasemalla Decimation masterilla tuotettu uusi mesh. Määrät on ilmoitettu ZBrushin aktiivisina pisteinä.



KUVA 19. Decimation masterin vaikutus malliin (ZBrush 4R6 2014)

4 YHTEENVETO

Digitaalinen veistäminen avaa paljon uusia mahdollisuuksia artistien mallien toteutuksille, mutta samalla vaatii artisteilta aina enemmän taitoa. Pelien visuaalisen tason noustessa myös artistien toteutukselta vaaditaan enemmän. Artistien tulee osata tehdä tarkkoja ihmisveistoksia sekä aina vain fantastisempia ja luovempia veistoksia muiltakin osin, jotta artistit pystyvät vastaamaan yleisön ja peliteollisuuden odotuksiin.

Tämän työn tavoitteena oli tutustua ja kokeilla erilaisia työtapoja pelien mallien veistämiseen. Artisteilla voi olla hyvin erilaisia veistosten toteuttamistapoja, mutta lähtökohtaisesti veistämisen pohjana ovat aina perinteisen veistämisen tekniikat. Tavoitteena työssä oli myös osoittaa ZBrushin tärkeys nykyisessä pelinkehityksessä, ja se kuinka se käyttäminen tulisi hallita yhtä hyvällä tasolla, ellei jopa paremmin kuin perinteisten pintamallinnusohjelmien käyttö. Digitaalisen veistämisen hyödyntäminen ja opettelu on 3D-artistille välttämätön kehityssaskel, mikäli haluaa kasvaa ja kehittyä artistina sekä olla mukana modernin pelitaiteen tuotannossa. Suurimmat pelistudiot vaativat 3D-artisteilta vähintään jonkin veistämishjelman osaamisen.

LÄHTEET

Painetut lähteet:

Spencer, S. 2008. ZBrush Character Creation: Advanced Digital Sculpting. Indianapolis, Indiana: Wiley Publishing, Inc.

Sähköiset lähteet:

Cahill, D. 2014. Game Hair Tutorial [viitattu 26.3.2014]. Saatavissa: <http://www.cgmeetup.net/home/game-hair-tutorial-zbrush-maya/>

Davies, A. 2011. Creating Tearable Textures in ZBrush [viitattu 25.3.2014]. Saatavissa: http://eat3d.com/free/zbrush_tile

Guillaud, R. Hänninen, R. Mariot, P. & Perret, E. 2008. Crowdfunding and the video-games industry [viitattu 17.3.2014]. Saatavissa: <https://aaltodoc.aalto.fi/bitstream/handle/123456789/11196/isbn9789526053486.pdf?sequence=1>

Jensen, M. 2011. ZBrush Hard Surface Techniques DVD. Julkaisija: Eat 3D

Johnson, W. & Lanning, K. 2013 ZBrushCentral [viitattu 23.3.2014]. Saatavissa: <http://www.zbrushcentral.com/showthread.php?180132-RECAP-ZBrush-SIGGRAPH-2013>

Kingslien, R. 2013. ZBrush 4R6: A Look At ZRemesher [viitattu 18.3.2014]. Saatavissa: <http://youtu.be/CVoFi2mnyhA>

Mujanovic, E. 2012. Cloth Fundamentals. Vertex HD 2 [viitattu 26.3.2014]. Saatavissa: <http://www.artbypapercut.com/>

Petrovits, A. & Canossa, A. 2013. From M.C. Escher to Massa Effect... GAME The Italian Journal of Game Studies. 2/2013 Journal [viitattu 17.3.2014]. Saatavissa: <http://www.gamejournal.it/from-m-c-escher-to-massa-effect-impossible-spaces-and-hyper-real-worlds-in-video-games-how-can-hyper-real-worlds-be-designed-and-interpreted-in-a-2d-2-5d-and-3d-virtual-environment-and-how-will-thi/#.Uyc1qc63sQN>

Pixologic. 2014a. Visual effects for films [viitattu 19.3.2014]. Saatavissa: <http://pixologic.com/zbrush/industry/films-vfx/>

Pixologic. 2014b. ZClassroom [viitattu 18.3.2014]. Saatavissa: <http://pixologic.com/zclassroom/homeroom/lesson/zbrush-ui/>

Pixologic, SUPPORT. 2011 [viitattu 20.3.2014]. Saatavissa: <https://support.pixologic.com/index.php?/Knowledgebase/Article/View/66/0/is-zbrush-4r2-64-bit>

Wikipedia. 2014. Digital sculpting [viitattu 23.3.2014]. Saatavissa: http://en.wikipedia.org/wiki/Digital_sculpting

Wilkinson, L. 2014. ZBrush Plate/ Armour Tutorial using Creasing [viitattu 23.3.2014]. Saatavissa: <http://www.polycount.com/forum/showpost.php?p=2010127&postcount=143>

ZBrush 4R6 käyttäjäopas. 2013a. Pixologic Inc [viitattu 26.3.2014]. Saatavissa: <http://docs.pixologic.com/user-guide/3d-modeling/sculpting/sculpting-brushes/>

ZBrush 4R6 käyttäjäopas. 2013b. Pixologic Inc [viitattu 26.3.2014]. Saatavissa: <http://docs.pixologic.com/user-guide/3d-modeling/sculpting/sculpting-brushes/strokes/>

ZBrush 4R6 käyttäjäopas. 2013c. Pixologic Inc [viitattu 26.3.2014]. Saatavissa: <http://docs.pixologic.com/user-guide/3d-modeling/hard-surface/clip-brushes/clip/>

KUVALÄHTEET

KUVA 1. Shukrallah, B. 2013. ZBrushilla luotu hahmo Avatar-elokuvasta [viitattu 12.4.2014]. Saatavissa: <http://www.benshukrallah.com/zbrush-the-revolution/>

KUVA 2. Kuvakaappaus. ZBrush 4R6 2014. ZBrush 4R6 käyttöliittymä ja sen osiot.

KUVA 3. Kuvakaappaus. ZBrush 4R6 2014. ZBrushin asetuksia piirtämiselle.

KUVA 4. Kuvakaappaus. ZBrush 4R6 2014. Yleiskäyttöisiä brusheja ja niiden tuottamia jälkiä.

KUVA 5. Kuvakaappaus. ZBrush 4R6 2014. ZBrushin Stroke vaihtoehdot.

KUVA 6. Pixologic 2014c. ZBrush Alhoja. Download center [viitattu 19.3.2014]. Saatavissa: <http://pixologic.com/zbrush/downloadcenter/alpha/>

KUVA 7. Kuvakaappaus. ZBrush 4R6 2014. Curve maskeerauksen toiminta.

KUVA 8. Kuvakaappaus. ZBrush 4R6 2014. Polyframe painikkeen toiminta sekä polygroupien muodostuminen.

KUVA 9. Kuvakaappaus. ZBrush 4R6 2014. Hahmojen luonti ZSphereillä.

KUVA 10. Nickel, J-T. 2012. The Female Face. Vertex HD 1 [viitattu 26.3.2014]. Saatavissa: <http://www.artbypapercut.com/>

KUVA 11. Dadela, M. 2014. Gravity [viitattu 20.3.2014]. Saatavissa: <http://pixologic.com/zbrush/features/brushes/>

KUVA 12. Kuvakaappaus. . Marmoset Toolbag 2. 2014. Marmoset 2 ohjelman sisällä oleva hahmo, jolla on planar hiuksia, joihin on beikattu fibermeshillä hiuksien muodot.

KUVA 13. Kuvakaappaus. ZBrush 4R6 2014. Kuvassa ZBrushin IMM brushilla luotuja hius planeja.

KUVA 14. Kuvakaappaus. ZBrush 4R6 2014. Vasemmassa kuvassa veistämisessä on käytetty polygrouppien perusteella tapahtuvaa automaattista maskeerausta.

KUVA 15. Kuvakaappaus. ZBrush 4R6 käyttäjäopas 2013. Clip Curven toiminta.

KUVA 16. Olguin, R. 2013. The Last of Us Art dumb 2 [viitattu 26.3.2014].

Saatavissa:

<http://www.polycount.com/forum/showpost.php?p=1865565&postcount=45>

KUVA 17. Vergne, F. 2013. Texturing – Siege Of Orgrimmar - WOW [viitattu 27.3.2014]. Saatavissa:

<http://www.polycount.com/forum/showthread.php?t=125737>

KUVA 18. Kuvakaappaus. ZBrush 4R6 2014. Polypaintattu hahmo. Vasemmalla ZBrushin SkinShade4 materiaalilla ja oikealla Flat Color materiaalilla.

KUVA 19. Kuvakaappaus. ZBrush 4R6 2014. Decimation masterin vaikutus malliin.