

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

Viestinnän koulutusohjelma / verkkoviestintä

Ville Kokkonen

MASKOTIN 3D-MALLINNUS JA ANIMOINTI

Opinnäytetyö 2011

TIIVISTELMÄ

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

Medianomi / Viestinnän koulutusohjelma

KOKKONEN, VILLE	Maskotin 3D-mallinnus ja animointi
Opinnäytetyö	38 sivua + 2 liitesivua
Työn ohjaaja	Marko Siitonen Tuntiopettaja
Toimeksiantaja	Arto Tilli / Jukolan viesti Ry
Toukokuu 2011	
Avainsanat	animaatio, kolmiulotteisuus, tietokonegrafiikka, mallintaminen.

Opinnäytetyössä esitetään kolmiulotteisten tietokoneanimaatioiden teossa ja perinteisesti animaatiossa laajalti käytettäviä tekniikoita sekä työskentelymenetelmiä. Näitä tekniikoita ja työskentelymenetelmiä hyödynnettiin opinnäytetyön osana toteutettavaa 3D-animaatiota.

Opinnäytetyön produktiivisena osana tehtiin 3D-animaatio Jukolan Viesti Ry:lle. Tämän animaation päähahmona toimi Jukolan Viesti -tapahtuman Veikko-maskotti. Tämä 3D-animaatio tehtiin Jukolan Viesti Ry:n promotionaaliseksi materiaaliksi internetmainostusta varten. Produktiivinen osio alkoi vaiheesta, jossa animaation päähahmon oli suunnitellut jo ennalta toinen Kymenlaakson ammattikorkeakoulun opiskelija.

Opinnäytetyön lopuksi pohditaan, kuinka projektin tuotoksia voisi kehittää jatkossa ja kuinka Jukolan Viesti Ry:n mainoskampanjaa voisi jatkaa tästä eteenpäin. Työssä käydään myös läpi projektin onnistumista, sitä, mitä voisi vielä parantaa, ja mitä on opittu tätä projektia tehdessä.

ABSTRACT

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

University of Applied Sciences

Medianomi

KOKKONEN, VILLE

3D Modelling and Animation of a Mascot

Bachelor's Thesis

38 pages + 2 pages of appendices

Supervisor

Marko Siitonen, lecturer

Commissioned by

Arto Tilli / Jukolan Viesti Ry

May 2011

Keywords

animation, three dimensional, computer graphics,
modelling

This bachelor thesis will present the techniques and methods used to create both traditional hand drawn animations and three dimensional computer generated animations. These methods and techniques were used in the creation of a 3D-animation that was made as a part of this thesis.

The animation created as a part of this thesis was created for Jukolan Viesti Ry. The animation featured a mascot of the event organized by Jukolan Viesti. The animation was made for Jukolan Viesti Ry to use it for promotional purposes in their internet advertisement. The mascot used in the animation was already designed by another student of Kymenlaakso University of Applied Sciences.

The thesis focuses on how the produced animation can be evolved and used in other media. The thesis also examines how successful the project was and what could be learned from the process of making of the animation.

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

TERMISTÖÄ	6
1 JOHDANTO	8
2 ANIMAATION HISTORIAA	9
3 ANIMAATION 12 PERUSSÄÄNTÖÄ	10
3.1 Litistymisen ja venyminen	10
3.2 Ennakointi	10
3.3 Lavastus	10
3.4 Kuva kerrallaan ja asennosta asentoon animointi	11
3.5 Liikkeen jatkuvuus ja päällekkäiset toiminnot	11
3.6 Liikkeen soljuvuus	11
3.7 Kaaret	12
3.8 Toissijainen toiminta	12
3.9 Ajoitus	12
3.10 Lioittelu	13
3.11 Hyvä peruskäsitys piirtämisestä	13
3.12 Karisma	13
4 TIETOKONEGRAFIIKAN HISTORIAA	13
5 TYÖN VAIHEET	16
5.1 Suunnittelu	16
5.2 Mallinnus	18
5.3 Teksturointi ja materiaalit	24
5.4 Rigaaminen	27
5.5 Animointi	30
5.6 Renderöinti ja post process	32
6 POHDINTA	33
6.1 Jatkokehitys	33
6.2 Mitä opin?	34

6.3	Mitä mahdollisesti toisin?	35
6.4	Miten suoriuduin?	35
	LÄHTEET	36
	LIITTEET	
	Liite 1. Kuva lopullisesta animaatiosta	
	Liite 2. Konseptikuvien ja mallinnuksen vertailukuvat	

TERMISTÖÄ

CGI

Computer Generated Image. Kuva joka on luotu tietokoneen avulla. (Stevens 2002, 118.)

Diffuse map

Kuva tai kuvio, joka määrittää objektin perusvärin (Lehtovirta – Nuutinen 2000, 198).

Dolly

Kameran liike, joka suuntautuu objektiin tai poispäin siitä (Lehtovirta – Nuutinen 2000, 194).

Etenevä kinematiikka

Forward Kinematics. Animointimenetelmä, jossa isäobjektin liike välittyy hierarkiassa alaspäin lapsiobjekteihin. (Lehtovirta – Nuutinen 2000, 200.)

Käänteinen kinematiikka

Inverse Kinematics. Lapsiobjektin liike vaikuttaa hierarkiassa ylöspäin, isäobjekteihin. (Lehtovirta – Nuutinen 2000, 206.)

Mappauskoordinaatit

Mapping coordinates. Määrittelee objektin materiaalin paikan, mittakaavan ja asennon. (Lehtovirta – Nuutinen 2000, 208.)

Panorointi

Kameran kääntäminen sivuttaissuunnassa. (Lehtovirta – Nuutinen 2000, 210.)

Pikseli

Pixel. Yksittäinen kuvapiste. Bittikartat muodostuvat joukosta pikseleistä. (Lehtovirta – Nuutinen 2000, 212.)

Polygoni

Suljettu muoto, jolla on useita sivuja. (Lehtovirta – Nuutinen 2000, 213.)

Reunapehmenys

Menetelmä kuvan terävien rosujen pehmentämiseen. (Rutenbeck 2006, 12.)

Tekstuuri

Objektin pinnaksi määritetty bittikartan muodossa oleva pintakuviointi. (Ahearn 2009, 16.)

Valeobjekti

Dummy object. Apukappale, joka ei renderöidy lopulliseen kuvaan. (Lehtovirta – Nuutinen 2000, 218.)

Verteksi

Polygonin kärkipiste. (Lehtovirta – Nuutinen 2000, 218.)

1 JOHDANTO

Tietokonegrafiikan avulla luodut animaatiot ovat varsin nuori ilmiö mediassa, ja niitä on käytetty kaupallisiin käyttötarkoituksiin vain pari vuosikymmentä, mutta siitä huolimatta nykyisin vastaan tulee päivittäin useita mainoksia, televisio-ohjelmia ja elokuvia, joita ei olisi pystytty toteuttamaan ilman 3D-grafiikkaa. Itse kiinnostuin tietokonegrafiikasta noin kymmenen vuotta sitten ja aloitin tietokonegrafiikan luomisen opettelen itsenäisesti harrastusmielessä. Tämän kymmenen vuoden aikana on jo ollut huomattavissa suuria harppauksia niin tekniikan kuin työskentelymenetelmienkin osalta.

Tässä opinnäytetyössäni toteutan Jukolan viesti Ry:lle kolmiulotteisen tietokoneanimaation, jota he voivat hyödyntää tulevilla projekteillaan eri tavoin. Projektin jatkokehitystä tulen käsittelemään kirjallisen osion loppupuolella. Tämän lisäksi tarkastelen kolmiulotteisen tietokonegrafiikan käytön hyötyjä ja haittoja osana pientä tai suurta mainoskampanjaa. Työni ohjaajana toimi Marko Siitonen ja Jukolan viestin yhteyshenkilönä Arto Tilli.

Kartoitan työni kirjallisessa osiossa animaation historiaa sekä animaation luonnin peruseriaatteita, jotka ovat olleet ammattilaisten käytössä jo useiden vuosikymmenien ajan. Nämä peruseriaatteet pätevät edelleen tänä päivänä tietokonegrafiikan ja 3D-animaatioiden luonnissa. Käyn myös läpi hieman historiaa sekä perinteisen animaation että tietokoneanimaation kannalta. Produktiivisessa osiossa esittelen työn eri vaiheet ja sen, mitä eri työvälineitä tai työskentelytekniikoita niihin sisältyy ja kuinka käytin näitä omassa projektissani.

Valitsin tämän aiheen opinnäytetyöni aiheeksi, koska olen noin kymmenen vuoden ajan jo harrastanut kolmiulotteisen grafiikan luomista ja halusin viedä osaamiseni harrastuksen tasolta ammattimaisemmaksi suorittamiseksi. Olen tähän asti tekemissäni 3D-animaatioprojekteissa ollut osana isompaa ryhmää toteuttamassa ja tässä opinnäytetyössä pääsen toteuttamaan animaation joka vaiheen alusta loppuun itse. Projektin jokaisen työvaiheen toteuttaminen itse on hauskaa vaihtelua, mutta se on myös suuri haaste.

2 ANIMAATION HISTORIAA

Liikkeen kuvantaminen on pohjautunut jo usean vuosisadan ajan niin kutsuttuun jälki-kuva-ilmiöön, joka on tunnettu jo antiikin kreikan ajoilta. Ilmiö tarkoittaa kuvan kiinnittymistä silmän verkkokalvolle lyhyeksi hetkeksi. Toistettaessa kuvasarjaa tarpeeksi nopeasti, syntyy aivoissamme käsitys sulavasta liikkeestä. (Gartz 1978, 14.)

1600-luvulla julkaistiin tähän jälkiokuva-ilmiöön pohjaavia vihkosia, joiden sivuja nopeasti selaten oli nähtävissä lyhyt animaatio. Tämä animaation muoto ja sen sovelluksia oli nähtävissä vielä 1900-luvun puoliväliin saakka. (Gartz 1978, 14.)

1800-luvulla kehitetyt erilaiset skoopit mahdollistivat toistuvien animaatioiden luomisen. Yksi tällaisista skoopeista oli belgialaisen professorin, Joseph Plateaun, keksimä phenakistoskooppi. Tässä laitteessa kuvat piirrettiin pyöreän levyn reunoihin, joka pyöriessään sai aikaan illuusion liikkuvasta kuvasta. 1890-luvulla ranskalainen Emile Reynaud avasi Pariisissa teatterin, jossa esitettiin jopa viidentoista minuutin pituisia piirrettyjä animaatioita. Näissä esityksissä animaatiota tehostettiin äänitehostein ja musiikin keinoin. (Bohl 1997, 14–15.)

Elokuvatekniikan kehittyessä moninaistuivat myös animaatioiden kehityksen keinot. Aiemmin animaatioiden toteuttamisessa käytettyjen, kuva kerrallaan piirrettyjen, kuvien rinnalle nousi 1900-luvun taitteessa uusi tekniikka. Tässä tekniikassa kuvasarja muodostetaan kameralla kuvaamalla yksi kuva kerrallaan filmille, kuvattavia kohteita liikuttaen kuvanoton välissä. (Nowell-Smith 1997, 71.)

Ensimmäinen piirrosfilmi, *Fantasmagoria*, julkaistiin vuonna 1908. Sen piirtäjästä, Emile Cohlistä, tuli piirrosfilmin uranuurtaja. Yksinkertaisuus, kekseliäs liioittelu ja luovuuden rajoittamattomuus olivat hänen piirroselokuviensa tukipilareita, joista tuli tämän uuden median ydinperustoja. (Lanzoni 2002, 436.)

1920-luvulla niin elokuvan kuin animaatioidenkin kehitys siirtyi yhä enemmän pois-päin teknologisesti kehityksestä kohti median ilmaisullista kehitystä. Kehitettiin teorioita liikkeiden ja ajoituksen täsmällisyydestä sekä kuvakoon vaihteluista. (Gartz 1978, 114–115.)

3 ANIMAATION 12 PERUSSÄÄNTÖÄ

3.1 Litistyminen ja venyminen

Yksi yleisimmistä virheistä animoitaessa hahmoa tai esinettä on että animaatio näyttää jäykältä ja luonnottomalta. Litistymisen ja venymisen päätarkoitus on antaa illuusio animoitavan kohteen tilavuudesta ja painosta. (Wyatt 2010, 68.). Sitä voidaan hyödyntää yksinkertaisissa objekteissa, kuten pomppivassa pallossa, tai monimutkaisemmissa konstruktioissa, kuten ihmisen kasvojen lihasrakenteessa. Litistymisen ja venymisen vieminen äärimilleen auttaa luomaan koomista efektiä. Realistista animaatiota tehdessä tämän periaatteen tärkein tehtävä on auttaa säilyttämään kohteen tilavuus kohteen ollessa vuorovaikutuksessa ympäristönsä kanssa. Esimerkiksi, kun halutaan animoida pallon törmääminen seinään, sitä litistetään vertikaalisti ja venytetään lateraalisti. (Thomas – Johnston 1981, 47–51.)

3.2 Ennakointi

Newtonin kolmas mekaniikan peruslaki sanoo, että jos kappaleeseen kohdistuu voima, niin samaan aikaan kappaleen täytyy vaikuttaa yhtä suurella, mutta vastakkaisella, voimalla. Animoinnin ennakointi pohjaa tähän ajatukseen. Jokaisella toiminnalla on ennakoiva vastakkainen liike. Esimerkiksi palloa heittäessä keho kiertyy hieman taaksepäin ennakoiden heittoa. (Wyatt 2010, 74.) Ennakointi valmistaa yleisön seuraavaa liikettä varten samalla tehden animaatiosta realistisemman. Lattialta ponnistavan tanssijan täytyy niitata alemmas saadakseen tarpeeksi voimaa ponnistukseen. Tätä tekniikkaa voidaan käyttää myös vähemmän fyysisiin toimintoihin. Esimerkiksi hahmo voi katsoa oven suuntaan odottaen jonkun saapuvan sisään tai keskittyä tiettyyn kohteeseen aikeissaan poimia se ylös. (Thomas – Johnston 1981, 51–52.)

3.3 Lavastus

Lavastamista käytetään paitsi animaatiossa myös teatterin ja elokuvien ilmaisussa. Sen tarkoituksena on ohjata yleisön huomio siihen, mikä on kerronnan kannalta tärkeää, mitä tapahtuu ja mitä on tapahtumassa. Lavastus tulee suunnitella siten, että kerronnan kannalta välttämättömät asiat välittyvät erehtymättömästi yleisölle. Tämä voidaan saavuttaa monella eri tapaa, hahmon sijoittumisella suhteessa kuvaan, valon ja varjon käytöllä tai kamerakulman sijainnilla. Tämän periaatteen tarkoitus on pitää fokus sii-

nä, mikä on tärkeää, välttämällä turhien yksityiskohtien häiritsemistä viestin perille viemiseen. (Thomas – Johnston 1981, 53–56.)

3.4 Kuva kerrallaan ja asennosta asentoon animointi

Varsinaiseen animointiprosessiin on kaksi eri lähestymistapaa. Kuva kerrallaan animoitaessa lähdetään ensimmäisestä animaatiokuvasta ja edetään kuvasta toiseen kronologisessa järjestyksessä. Asennosta asentoon animoitaessa luodaan aikajanelle tärkeimpiin avainkohtiin kuvia ja tämän jälkeen animoidaan väliin jääneet kuvat. Kuva kerrallaan -animointi sopii paremmin dynaamisiin ja nopeisiin kohtauksiin, kun taas asennosta asentoon -animointi soveltuu emotionaalisiin kohtauksiin, joissa kuvan kehystäminen ja hahmon vuorovaikutus ympäristön kanssa on tärkeämpää. (Thomas – Johnston 1981, 56–58.; Krasner 2004, 165–167)

3.5 Liikkeen jatkuvuus ja päällekkäiset toiminnot

Liikkeen jatkuvuus ja päällekkäin esiintyvät toiminnot auttavat luomaan realistisemmän kuvauksen animoitavan kappaleen liikkeestä ja kiihtyvyydestä. Liikkeen jatkuvuudella tarkoitetaan inertian vaikutusta esimerkiksi tilanteessa, jossa hahmo pysähtyy ja hänen hiuksensa ja vaatteensa jatkavat liikettä fysiikan lakien mukaisesti muutaman kuvan ajan. (Wyatt 2010, 72.). Päällekkäisillä toiminnoilla tarkoitetaan liikkeen jatkuvuuden käyttöä useamman toiminnon vaikuttaessa liikkeeseen. Esimerkkinä tästä voidaan ottaa hahmo, joka pysähtyy ja samalla kääntyy ympäri. Tässä tapauksessa tulee ottaa huomioon liikkeen jatkuvuus hahmon pysähtyessä ja kääntymisen aiheuttava liike, jolloin kankaan uskottavan näköiseen hulmuamiseen tulee kiinnittää huomiota. Tähän samaan periaatteeseen luetaan myös liikkeen ”laahaaminen”. (Thomas – Johnston 1981, 59–62.; White 2006, 217.)

3.6 Liikkeen soljuvuus

Kappaleen liikkeen kuvaamisen tulee pohjata fysiikan lakeihin. Lepotilasta liikkeelle lähtevä käsivarsi tarvitsee hetken saavuttaakseen huippunopeutensa. Myös pysähtyminen tarvitsee aikaa. Tätä liikkeen kuvantamisen ohjetta käytetään erityisesti ihmis-hahmoihin ja heidän liikkeisiinsä, mutta sama periaate pätee myös elottomiin objekteihin. (Thomas – Johnston 1981, 60–62.)

3.7 Kaaret

Tavalla tai toisella kaikki liike tapahtuu kaaren muodossa. Suorat linjat ovat tylsiä ja elottomia, niitä havaitaan vain harvoin luonnossa. (Wyatt 2010, 88) Muutamaa poikkeusta lukuun ottamatta kaikki ihmisten ja eläinten liikkeet tapahtuvat kaaren muodossa niveltyneistä raajoistamme johtuen. Poikkeuksena tähän periaatteeseen on mekaanisten laitteiden liike. (Thomas – Johnston 1981, 62–63.) Kaarien käyttöä animoitaessa voi hyödyntää muussakin kuin liikkeen määrittämisessä tilan poikki, sitä voi myös käyttää esimerkiksi pään kääntymisen määrittämiseen luonnollisesti. Pään kääntymisen kiihtyvyyden voi ajatella kaaren muotoon, jolloin kääntymisen kiihtyy hitaasti ja hidastuu liikkeen loppua kohden.

3.8 Toissijainen toiminta

Toissijaisen toiminnan lisääminen kohtaukseen auttaa tukemaan pääsijaista toimintaa ja tuo lisää eloa kohtaukseen. Kävelevä hahmo voi samaan aikaan heilutella käsiään reippaasti tai pitää ne taskussaan, hän voi mutista itsekseen tai vihellellä. Toissijaisen toiminnan tärkein tehtävä on nimenomaan tukea päätoimintaa sen sijaan, että se veisi huomiota päätoiminnalta. Jos päätoimintaa tukeva toissijainen toiminta vie liikaa huomiota, on parempi jättää toissijainen toiminta pois. (Thomas – Johnston 1981, 63–64.)

3.9 Ajoitus

Ajoituksella voidaan tarkoittaa niin fyysisen liikkeen ajoittamista realistisemmän vaikutelman luomiseksi kuin tarinan kerronnan teatraalista ajoittamista. Teatraalinen ajoitus liittyy vähemmän tekniseen toteutukseen, ja sitä voidaan käyttää esimerkiksi koomisen efektin havainnollistamiseen. (Johnston – Thomas 1981, 64–65.) Ajoituksen hallitsemista ei voi oppia kirjoja lukemalla, ajoituksen hyvään hallintaan vaaditaan pitkää kokemusta. Ajoitusta animaatiossa voidaankin verrata hyvään musiikkoon joka kykenee lisäämään aksentteja ja korostamaan tiettyjä sointuja hyvällä ajoituksella. (Wyatt 2010, 70.)

3.10 Lioittelu

Lioittelu on kätevä työkalu näyttelijöille ja animaattoreille. Mykkäelokuvien tähdet käyttivät liioittelua näytelläkseen tunteita ilman puhuttua dialogia. (Wyatt 2010, 76.) Lioittelun käyttö soveltuu erityisesti karikatyyriseen animaatioon. Täysin realistinen kuvantaminen näyttää usein hieman tylsältä ja kliiniseltä. Lioittelun klassinen muoto, jota esimerkiksi Disneyn animaatioissa käytetään, pysyttelee uskollisena todellisudelle: liioittelu on hillittyä, ja oikea elämä kuvataan vain hieman villimpänä ja äärimmäisempänä. (Thomas – Johnston 1981, 65–66.)

3.11 Hyvä peruskäsitys piirtämisestä

Tämä periaate tarkoittaa, että animaattoriin pätevät samat vaatimukset kuin koulutettuun taiteilijaan. Animaattorilla täytyy olla hyvä käsitys anatomian perusteista, sommittelusta, fysiikasta, valosta ja varjosta ja niin edelleen. Nykypäivän tietokoneanimaattorien ei tarvitse piirtää juuri lainkaan, mutta kuvan tekemisen perusteista on heillekin paljon apua. (Thomas – Johnston 1981, 66–67.)

3.12 Karisma

Piirretyllä hahmolla täytyy olla samalla tapaa vetovoimaa kuin perinteisellä näyttelijällä. Vetovoimainen hahmo ei välttämättä ole sympaattinen. Toisaalta roistolla tai hirviölläkin voi olla vetovoimaa. Tärkeintä on, että hahmo tuntuu oikealta ja kiinnostavalta. (Thomas – Johnston 1981, 68.)

4 TIETOKONEGRAFIIKAN HISTORIAA

Vaikka tietokoneet ja 3D-grafiikka ovat melko tuoreita ilmiöitä, tietokonegrafiikan sovelluksia käytetään laaja-alaisesti nykypäivänä. 3D-grafiikkaa tarjoaa korvaamattoman työkalun monenlaisissa suunnittelutyötehtävissä. 3D-grafiikan avulla voidaan luoda keinotekoisia malleja ja visualisoida ideoita. Tämä onkin tärkeä osa esimerkiksi asuinrakennusten, teollisuuslaitosten, julkisten tilojen ja kaupunkien suunnittelua. Lääketieteessä eri kuvantamistavat tuottavat suuren määrän kolmiulotteista informaatiota, jonka esittämistä ihmiselle havainnollisella tavalla 3D-sovellukset tukevat. Si-

mulaattoreiden avulla niin lääkäreiden kuin metsäkonekuljettajienkin on mahdollista harjoitella ammatissaan toimimista turvallisessa ympäristössä. (Puhakka 2008, 24.)

Vaikka tietokonegrafiikan historia ei ole pitkä, se on kehittynyt sitäkin nopeammin. 1940-luvun lopulla ja 1950-luvulla syntyivät ensimmäiset merkittävät tietokonegrafiikan sovellukset kylmän sodan sivutuotteena. Whirlwind-projektin tavoitteena oli kehittää riittävän nopeasti toimiva digitaalinen tietokone, jolla voitaisiin ohjata lentosimulaattoria. (Puhakka 2008, 24.) SAGE-projektissa taas kehitettiin Whirlwind-projektin pohjalta ilmatilan valvontajärjestelmää. Tutka-aseilta saatua kuvaa esitettiin käyttäjälle vektorigrafiikan muodossa. (Machover 1978, 38.)

Tietokonegrafiikkaa on käytetty elokuvissa jo varhaisessa vaiheessa, ensimmäinen esimerkki vuodelta 1958. Alfred Hitchcockin Vertigo-elokuvan avauskohtauksessa valkokankaalla näkyy vektorigrafiikalla tuotettuja, salaperäisen näköisiä, geometrisia kuvioita. (Puhakka 2008, 25.)

Termin ”tietokonegrafiikka” lanseerasi Boeingin suunnittelija William Fetter vuonna 1960. Fetter tutki lentäjän sijoittumista lentokoneen ohjaamoon rautalankamallin avulla. Vuonna 1961 ohjelmoitiin ensimmäinen graafinen tietokonepeli Spacewar PDP-1-tietokoneelle. (Puhakka 2008, 25.) Samoihin aikoihin IBM kehitti ensimmäisen kaupallisen CAD-järjestelmän, DAC1:n, jota muun muassa General Motors käytti autojensa suunnitteluun (Machover 1978, 39).

Renaultilla työskennellyt Pierre Bézier julkaisi vuonna 1962 tuloksensa kontrollipisteiden avulla ohjattavista käyristä. Vuonna 1963 Ivan Sutherlan esitteli Sketchpad-järjestelmän, joka loi perustan nykyaikaiselle graafiselle käyttöliittymälle. Vuonna 1965 Jack Bresenhamin toteutti tehokkaan algoritmin viivan piirtämiseksi rasterinäytölle, ja Lawrence Roberts toi julki ideansa homogeenisistä koordinaateista ja 4×4 -muunnosmatriiseista. (Puhakka 2008, 25.)

Näihin aikoihin tietokonegrafiikan ammattilaisjärjestöt alkoivat muodostaa omia kattojärjestöjään. SID (Society for Information Display) muodostettiin vuonna 1963, ACM (Association for Computing Machinery) vuonna 1966. ACM nimesi itsensä uudelleen vuonna 1969, uudeksi nimeksi valittiin SIGGRAPH (Special Interest Group in Graphics and Interactive Techniques). (Machover 1978, 39–40.) Samalla nimellä järjestettiin alan ensimmäinen konferenssi vuonna 1973 (Puhakka 2008, 26).

1970- ja 1980-luvulla tutkimustyö kohdistui pintojen ja valaistuksen realistisemman piirron kehitykseen. Tänä aikana kehitettiin monet yhä tänäkin päivänä käytössä olevista renderöintitekniikoista. Vuonna 1971 ranskalainen Henri Gouraud esitti, kuinka polygoneista koostettuun malliin saadaan tasaisen kaartuvan pinnan vaikutelma interpoloimalla väri polygonien kulmista. Tätä tekniikkaa kutsutaan Gouraud-sävytykseksi. Ed Catmull esitteli väitöskirjassaan vuonna 1974 Z-puskuritekniikan ja pintojen teksturoinnin kaksiulotteisilla kuvilla. Molemmat tekniikat ovat nykyaikaisen tietokonegrafiikan peruspilareita. Vuonna 1975 vietnamilaisyntyinen tutkija Bui Tuong Phong esitti omassa väitöskirjassaan kiiltävää pintaa simuloivat mallit, jotka nekin ovat nykyisin laajassa käytössä ja ovat nimetty keksijänsä mukaan. Myös Jim Blinn on ollut tietokonegrafiikan kehityksen keskeisiä hahmoja. Hän kehitti muun muassa ympäristönkuvaustekniikan (1976) ja pintojen kuhmutustekniikan (1978). Ensimmäinen nykyaikainen säteenjäljittäjä esiteltiin vuonna 1979, säteenjäljittäjiä käytetään nykyaikana monien 3D-sovellusten valaisutekniikkana. (Puhakka 2008, 26.)

1980-luvulla teollisuuden alat alkoivat ottaa tietokonegrafiikkaa yhä enemmän käyttöönsä. Vuonna 1982 perustettu Autodesk-yhtiö kehitti ja julkaisi ensimmäisen PC:llä toimivan CAD-ohjelmiston, AutoCAD:n. Samana vuonna Jim Clark perusti Silicon Graphics -yhtiön (nykyinen SGI). Vuonna 1992 yhtiön IRIS GL -piirtorajapintaa käytettiin pohjana luotaessa avointa OpenGL-piirtorajastandardi. (Puhakka 2008, 26.)

Elokuviissa tietokonegrafiikkaa käytettiin ensin vain lyhyissä kokeiluissa. 2D-tietokonegrafiikkaa nähtiin ensimmäisen kerran osana kokopitkää elokuvaa vuonna 1973 Michael Crichtonin ohjaamassa Westworld-elokuvassa ja 3D-grafiikkaa 1976 tämän elokuvan jatko-osassa Futureworld. Vuonna 1982 Star Trek II -elokuvassa nähtiin Industrial Light and Magic -tehosteyhtiön luoma, kokonaan tietokoneella tehty erikoisefekti. Vuonna 1982 ilmestyi myös Disneyn Tron-elokuva, joka sisälsi kokonaan tietokoneella tehtyjä jaksoja. (Puhakka 2008, 26.)

Vuoden 1989 Abyss-elokuvassa nähtiin ympäristöään heijastava vesiolento, joka luotiin ympäristönkuvaustekniikan avulla. Tätä ympäristöä heijastavaa tekniikkaa käytettiin myös Terminator 2 -elokuvassa metallisen hahmon luomiseen vuonna 1991. Terminator 2 -elokuvassa tietokonegrafiikan avulla luotujen kohtausten osuus oli vain muutamia minutteja, mutta vuoden 1993 Jurassic Park -elokuvassa oli jo pitkiä kohtauksia, joissa esiintyivät pääosassa tietokonegrafiikalla luodut dinosaurukset. Pixar-

yhtiön Toy Story julkaistiin vuonna 1995, ja se oli ensimmäinen kokonaan tietokonegrafiikalla toteutettu piirretty. Tietokoneella tuotetuista erikoistehosteista on tullut osa elokuva- ja televisiotuotannon arkipäivää. (Puhakka 2008, 26–27.)

5 TYÖN VAIHEET

5.1 Suunnittelu

Työni produktiivinen osio koostuu maskotin mallintamisesta ja animoimisesta Jukolan Viestin verkkosivuille. Projekti lähti liikkeelle alkuperäiseen hahmokonseptiin tutustumisella ja sopimalla asiakkaan yhteyshenkilön, Arto Tillin, kanssa projektin suunnasta. Alkuperäisen hahmon konseptin suunnitteli toinen Kymenlaakson ammattikorkeakoulun opiskelija Senni Ringman. Hahmoksi suunniteltu Veikko-maskotti soveltui perusrakenteeltaan hyvin mallinnettavaksi kolmiulotteisena, enkä päättänyt tehdä suuria muutoksia alkuperäiseen suunnitelmaan. Konseptissa oli pieniä yksityiskohtia, joita täytyi hioa muutettaessa hahmoa kolmiulotteiseksi. Yksi tällaisista yksityiskohdista oli maskotin kaula, joka oli sivulta piirretyssä konseptikuvassa ohut ja linjakas mutta etukuvassa kaula oli hartioiden levyinen ja huomattavan lyhyt.



Kuva 1. Veikko-maskotti Senni Ringmanin suunnittelemana.

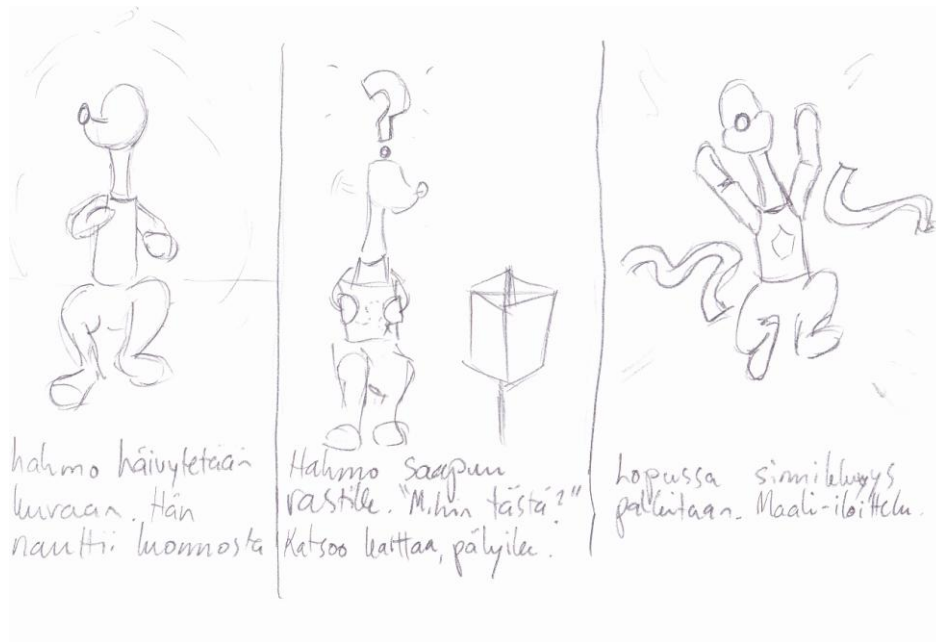
Asiakkaan kanssa sovimme, että saan päättää itsenäisesti kaikissa animaation tuottamiseen liittyvissä asioissa. Opinnäytetyöni produktiivisen osion aiheeksi valitsin internetissä julkaistavan 15 sekunnin animaatiokatkelman.

Kuvakäsikirjoituksen ja visuaalisen suunnittelun kannalta tutustuin myös Jukolan viestin omaan Salpa-Jukola-julkaisuun ja muuhun promootiomateriaaliin. Materiaalin avulla pääsin tutustumaan hieman lähemmin Jukolan Viestin toimintaan ja kohderyhmään. Tämän taustatutkimuksen pohjalta kykenin aloittamaan työni suunnitteluvaiheeseen.

Animaation tarinan suunnitteluvaiheessa ensimmäisenä oli huomioitava käytettävät resurssit, lähinnä ajankäyttö. 3D-animaation tekeminen on varsin aikaa kuluttavaa puuhaa, joten aiheen rajaaminen siten, että projekti ei lähde paisumaan kuin pullataikina, oli tärkeä vaihe. Tämän takia päätin jättää pois joitakin elementtejä, kuten kasvojen animaation.

Koska animaatio tulee esitettäväksi internetsivuille, päätin käyttää visuaalisena ilmeenä jo konseptikuvista tuttua yksinkertaistettua taustaa. Yksinkertaistettu tausta auttaa pitämään lopullisen tiedoston koon alhaalla, koska pakkauskoodekki kykenee pakkaamaan staattisen taustan datan mahdollisimman pieneen kokoon pitäen kaistan käytön kustannukset mahdollisimman pieninä.

Animaation rakenteen päätin toteuttaa kolmella tarinaa eteenpäin vievällä otoksella ja kahdella informatiivisella animaation päälle sijoitettavalla tekstilaatikolla. Pitäkseni animaation tyylin yhtenäisenä, en käyttänyt useita vaihtelevia kuvakokoja. Koko animaatio esitetään yhdestä hahmon mukana panoroivasta kuvakulmasta jättäen kuva-ruudun yläreunaan tilaa informaation esittämiselle.

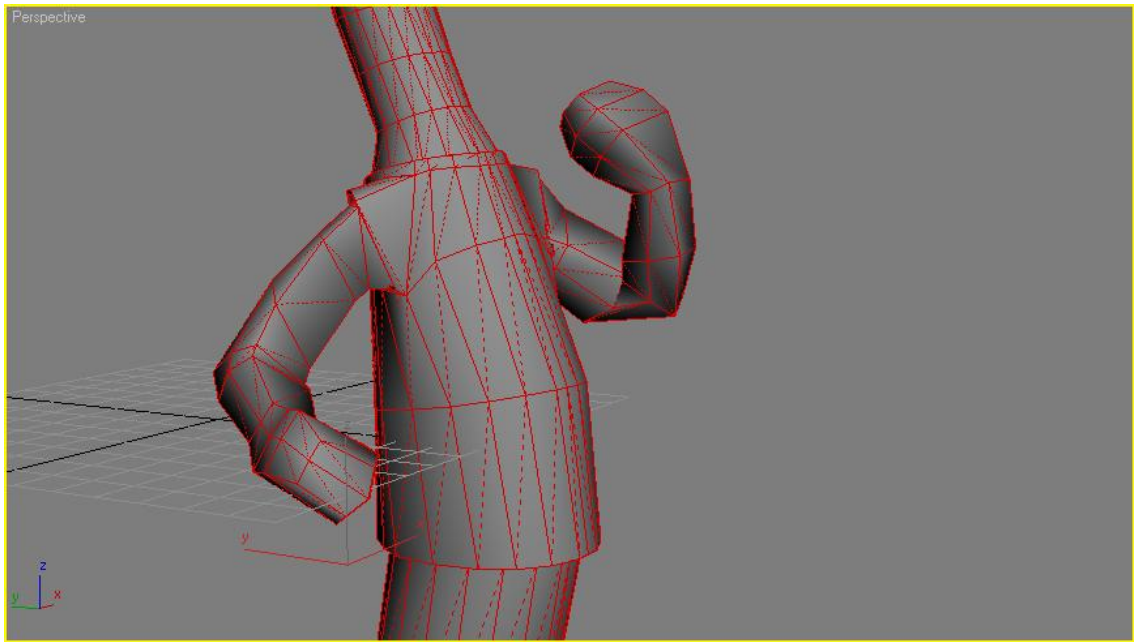


Kuva 2. Animaation kuvakäsikirjoitus.

5.2 Mallinnus

Mallintajalta vaaditaan hyvää kolmiulotteista hahmotuskykyä. Mallin rakenne täytyy osata jakaa pienempiin osakokonaisuuksiin. Ennen mallintamisen aloittamista täytyy tietää lopullisen mallin kohdemedia, jotta voidaan päättää työn tarkkuus. Jos lopputuote tulee olemaan suurikokoinen juliste, täytyy myös mallin olla tarkka, koska yksityiskohdat erottuvat hyvin. (Lehtovirta – Nuutinen 2000, 22.)

Mallintamista on usein verrattu kuvanveistoon. Tämä on hieman virheellinen vertaus sillä mallintaja ei kuvanveistäjän tapaan määritä esineen tilavuutta vaan sen pintaa. Tätä pintaa kutsutaan geometriaksi tai verkoksi (mesh).



Kuva 3. 3D-mallin pintarakenne.

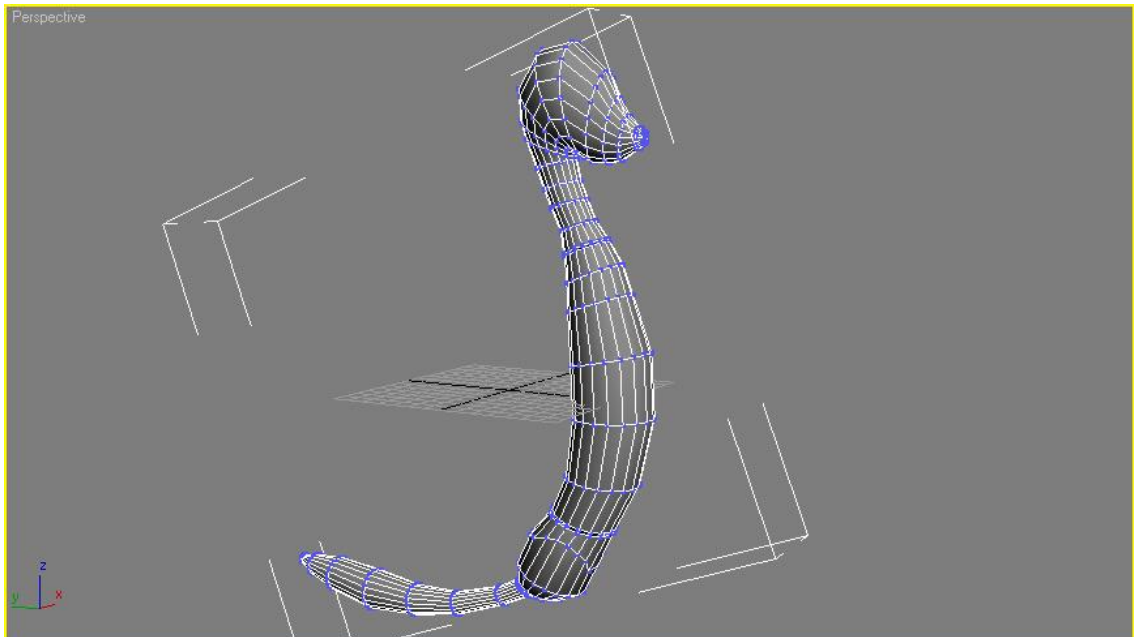
Pinta koostuu kolmion tai neliön muotoisista polygoneista. Koska monimutkaisten muotojen mallintaminen pelkillä kolmioilla ja neliöillä ei ole aivan suoraviivainen asia, on kehitetty muutama työskentelytapa, jotka helpottavat työprosessia. (Wyatt 2010, 60.)

Polygonaalinen mallinnus on näistä kolmesta työskentelytavasta yksinkertaisin. Pintojen määrittäminen tapahtuu polygoni tai polygonijoukko kerrallaan levittämällä. Tämä työskentelytapa soveltuu hyvin polygonimäärältään matalien mallinnusten tekemiseen. (Wyatt 2010, 60.)

Alajaosto-mallinnus (subdivision modelling) on tekniikka, jossa tyhjästä aloittamisen sijaan mallin muoto saa alkunsa perusprimitiivin muodossa. Tästä perusprimitiivistä sitten objektin muodot vedetään esiin joko pursottamalla tai lisäämällä primitiivin jakokkeita. (Wyatt 2010, 60.)

Splini-mallinnuksessa käytetään matemaattisia kurveja muodostamaan mallin pinnat. Matemaattisten kurvien ansiosta mallin pinta on äärettömän pyöreä. Polygoneihin pohjaavat mallinnustavat tarvitsee pehmentää erilaisin apukeinoin, jotta kulmikkaista kolmioista ja neliöistä saadaan pyöreitä muotoja. (Daniele 2009, 5–9.)

Mallinnuksessa ensimmäinen huomioon otettava asia on alkuperäisen konseptin analysointi ja työn suunnittelu sen pohjalta. Opinnäytetyössäni mallinnettava Veikko-maskotti on hyvin pitkälle pelkistetty ja sarjakuvamainen hahmo. Koska alkuperäisissä konseptikuvissa hahmon hartiat ja keskivartalo eivät olleet merkittävästi leveämpiä kuin kaula ja pää, päätin muodostaa selkärangan, hännän ja pään perusrakenteet yhdestä yhtenäisestä sylinteristä. Tätä sylinteriä muokkasin sopimaan selkärangan profiiliin. Tämän saavutin suorittamalla niin kutsutun pehmeän valinnan, jossa valitut verteksit saavat sataprosenttisen vaikutuksen suoritetuista muokkauksista ja ympäröivät valitsemattomat verteksit muokkautuvat riippuen etäisyydestään lähimpään valittuun verteksiin. Tällä tavoin saavutin vartalolle helposti linjakkaan ja orgaanisen muodon, jota ei tarvinnut muokata työläästi sylinterin poikkileikkaus kerrallaan. Sama muokaus olisi ollut mahdollista suorittaa automaattisella taivutusmuokkaajalla, mutta tällöin lopputuloksen polygonaalinen rakenne ei olisi ollut sopiva tulevia vaiheita varten. Sulavan animaation saavuttamiseksi oli tärkeää, että esimerkiksi paidan ja kaulan kohdalla olevat verteksit sijaitsevat tarkasti ennalta määrätyillä paikoilla.



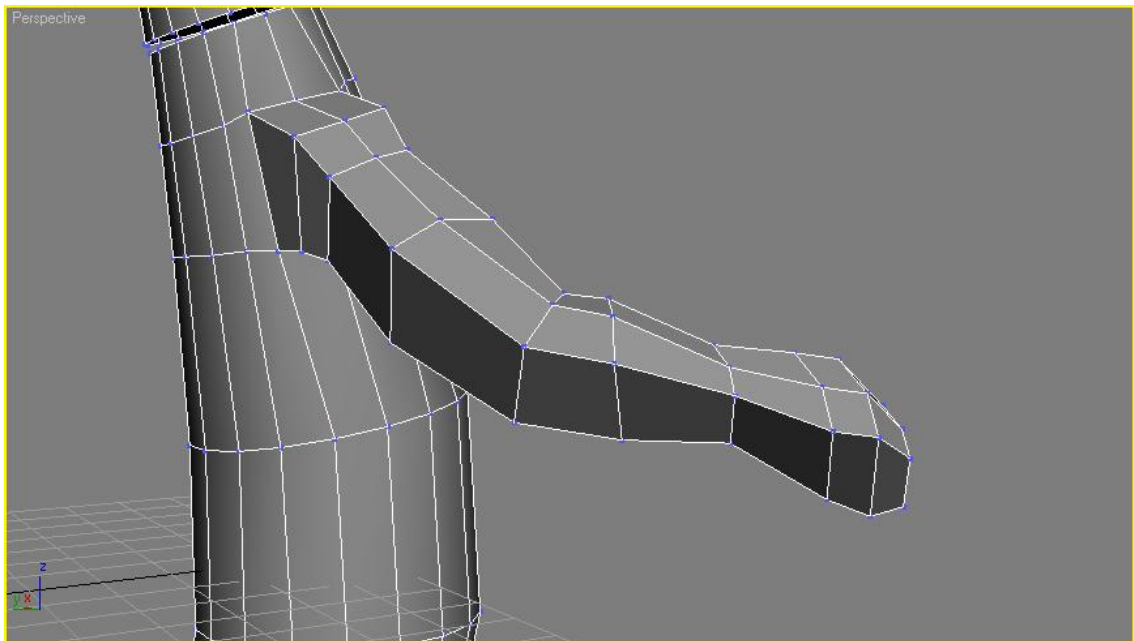
Kuva 4. Veikko-maskotin vartalon perusmuoto koostuu muokatusta sylinteristä.

Tässä vaiheessa poistin toisen puolen hahmosta ja kloonasin jäljelle jääneen rakenteen instanssiksi. Tämä instanssi päivittyy samoin muokkauksin kuin alkuperäinen kopio, jolloin symmetristen muotojen kuten käsien tekeminen helpottuu.

Käsien mallintamisessa käytin niin kutsuttua pursotustyökalua (extrude). Tämä työkalu muokkaa valittua polygonialuetta kasvattamalla siitä eräänlaisen polygonien tornin.

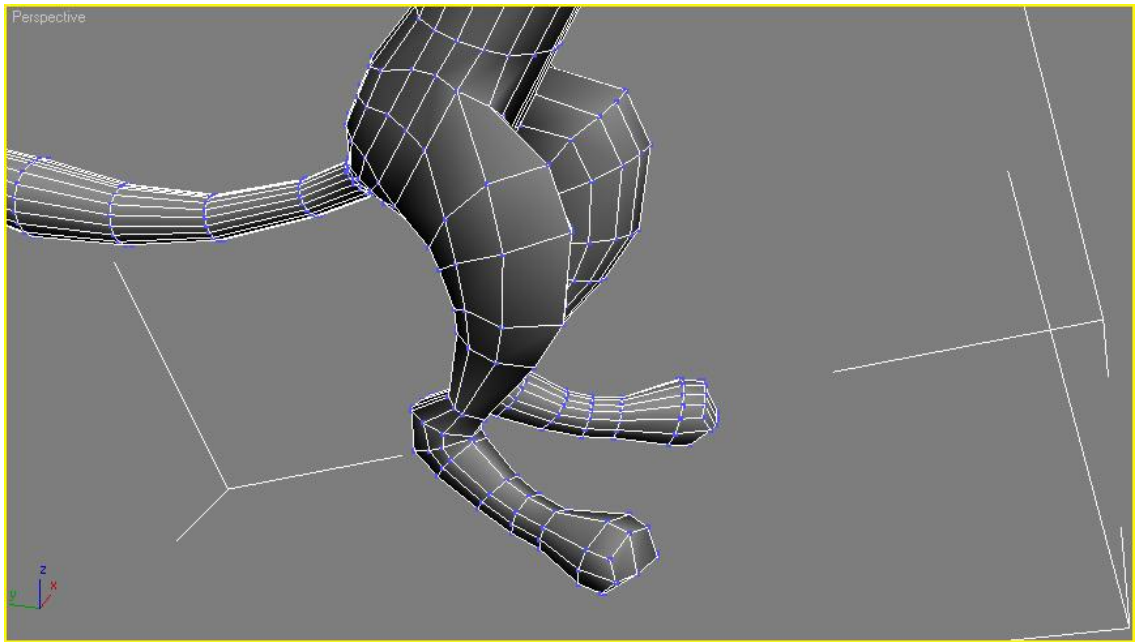
Kädet olisi ollut mahdollista tehdä myös omista perusprimitiiveistään, mutta olkapäiden aihio oli muokattu jo ennalta, joten sylinterimäisen muodon pursottaminen onnistui helposti nappia painamalla. Tämän lisäksi pursottamalla polygonien virtaus pysyi helposti yhtenäisenä.

Koska käsivarret ovat kehon taipuisimmat ulokkeet, täytyy animointia varten käsivarsien rakenteeseen lisätä polygoneja taiteiden kohdalle, jotta käsivarret taipuvat luontevasti animointivaiheessa.



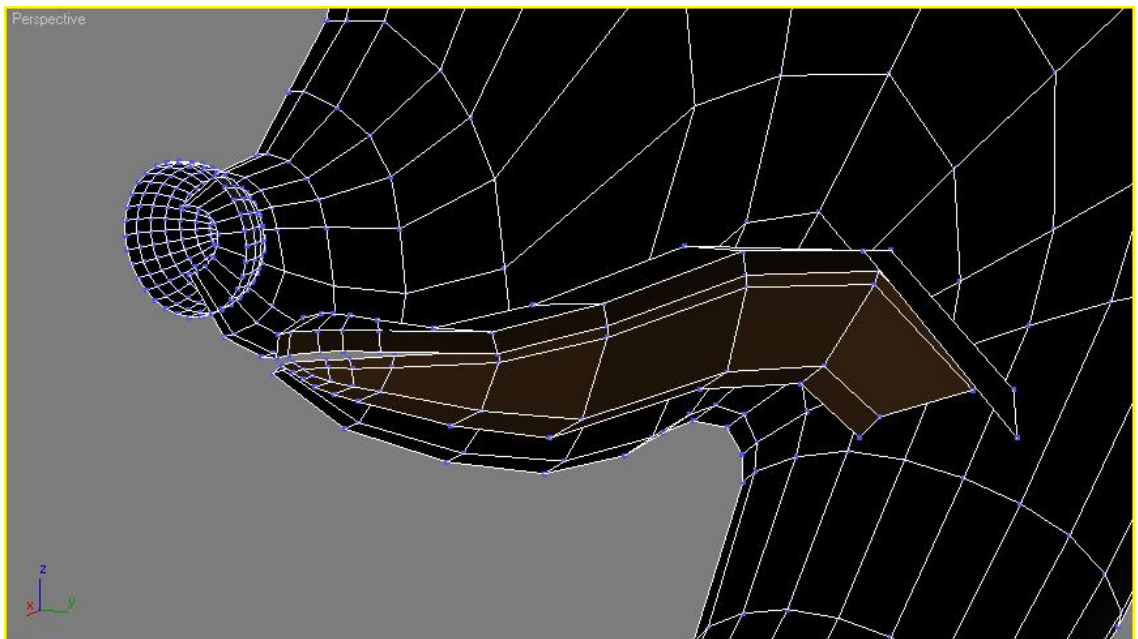
Kuva 5. Käsivarren segmentit.

Veikko on suunniteltu kävelemään niin kahdella jalalla, kuin neljälläkin. Tästä johtuen hahmon rakenteen ja polygonien virtaus on hieman erilainen kuin aina kahdella jalalla kävelevillä hahmoilla. Sen sijaan normaalien kaksijalkaisten hahmojen jalat ulkonevat samansuuntaisesti vartalon kanssa. Veikon jalat ovat 90 asteen kulmassa vartaloon verrattuna. Tämän rakenteellisen ja käyttäytymyksellisen erikoisuuden takia lantion seudun verteksit täytyi asetella tarkoin, eikä raajojen rakentaminen käynyt yhtä yksinkertaisesti pursottamalla kuin käsien mallintaminen. Periaate oli kuitenkin sama: pari ylimääräistä poikkileikkausta taiteiden kohdalle helpottamaan animointia.



Kuva 6. Jalan rakenne.

Pään mallinnus oli Veikon virtaviivaisen ylävartalon rakenteen ansiosta yksinkertainen operaatio. Pään virtaus suuntautui kaulasta ylöspäin nenää kohti, jossa polygonivirta kohtaa ja sulkeutuu. Suun mallintaakseni leikkasin yhden pään poikkileikkauksista kahtia ja hyödynsin tekniikoita, joita yleisemmin käytetään patch-mallinnuksessa. Normaalin pursottamisen sijaan venytin leikatun suuaukon reunaa, luoden näin suonkalon.

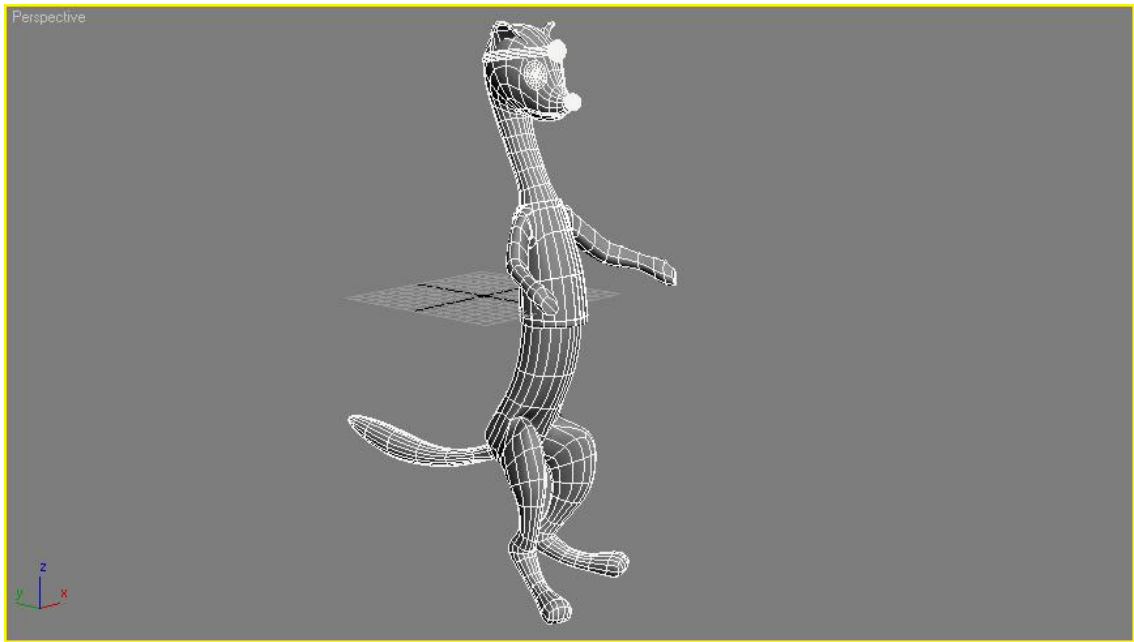


Kuva 7. Pään läpileikkaus ja suun rakenne.

Silmät olisi voinut toteuttaa maalaamalla silmät tekstuuriin, luomalla silmät erillisinä objekteina tai mallintamalla silmäkuopat osaksi mallia. Koska olin jo suunnitteluvaiheessa päättänyt jättäväni kasvoanimaation melko yksinkertaiseksi, ja koska mallilta ei vaadittu tarkkuutta lähikuviin, päätin toteuttaa silmät erillisenä objektina. Valitsin tämän toteutustavan tekstuuriin maalattujen silmien sijaan siltä varalta, että tulevaisuudessa muutan mieleni ja haluan lisätä hieman ilmettä silmiin. Tekstuurin vaihtaminen erilliseen objektiin on järkevämpää kuin koko hahmon vartalon tekstuurin vaihtaminen. Silmän saamiseksi pään muotojen mukaiseksi käytin boolean-operaattoria. Boolean-operaattori luo uuden esineen kahden eri objektin avulla, useimmiten kaiveramalla objektin A muotoinen kolo objektiin B (Gahan 2009, 23). Tässä tapauksessa käytin Boolean-operaattoria muokkaamaan ympyrän muotoista silmää siten että se mukautuu Veikon pään topologiaan.

Maskotilla on konseptikuvissa yllään vihreä paita sekä otsalamppu. Näiden yksityiskohtien mallintaminen pohjautui pitkälti jo mallinnettuihin resursseihin. Paita syntyi kopioimalla Veikon keskivartalon ja olkapään polygoneja ja skaalaamalla niitä niin että paita lepäsi irrallaan vartalosta. Tämän jälkeen lisäsin paitaan hieman paksuutta lisäämällä paidan modifier-listaan shell-modifierin. Otsalampun mallinnus onnistui paitaa helpommin. Pannan mallinsin sylinterin pohjalta, ja varsinainen lamppu on yksinkertaistettu puolipalloksi.

Viimeinen vaihe mallinnuksessa oli mallin rakenteen pehmentäminen lisäämällä objekteille NURMS-pehmenys (non-uniform rational mesh smooth).



Kuva 8. Viimeistely malli.

5.3 Teksturointi ja materiaalit

Materiaalit ovat tärkeä osa 3D-grafiikkaa. Ne antavat esineille oman persoonallisuutensa ja voivat kertoa omaa tarinaansa mallinnetun hahmon tai esineen historiasta. Pelkkä mallintaminen antaa esineelle muotonsa, mutta tekstuuri antaa sille ilmeen. Se saa puun näyttämään puulta harmaan savimassan sijaan. Hyvän materiaalin tekemiseen vaaditaan muutakin kuin materiaalin ominaisuuksien tuntemista. 2D-kuvankäsittelyohjelman, kuten Adobe Photoshopin, hyvä hallinta on tärkeää, sillä materiaalit koostuvat usein bittikartoista. (Lehtovirta – Nuutinen 2000, 30.)

Mallinnetut pinnat itsessään ovat täysin tasaisia ja ilman pienintäkään kulumaa tai yksityiskohtaa. Monimutkaisten materiaalien, kuten puu, uskottava visuaalinen ilmaisu 3D-ohjelmistossa vaatii omanlaisiaan silmänkääntötemppeja. Pinnan pieniä epätasaisuuksia ja uurteita ei useinkaan varsinaisesti tuoda esiin kolmessa ulottuvuudessa vaan valaistusvaiheessa 3D-mallinnusohjelma ottaa huomioon objektiin määritetyn 3D-pinnoitteen (bump map tai normal map) ja luo illuusion kohoumista valon ja varjon avulla. (Lehtovirta – Nuutinen 2000, 31.) 3D-ohjelmien materiaalieditoreissa on useita eri säätöjä materiaalien luomiseen:

- materiaalin pääväri (diffuse color)
- materiaalin väri ilman kohdistettua valoa (ambient color)
- läpinäkyvyys (opacity)

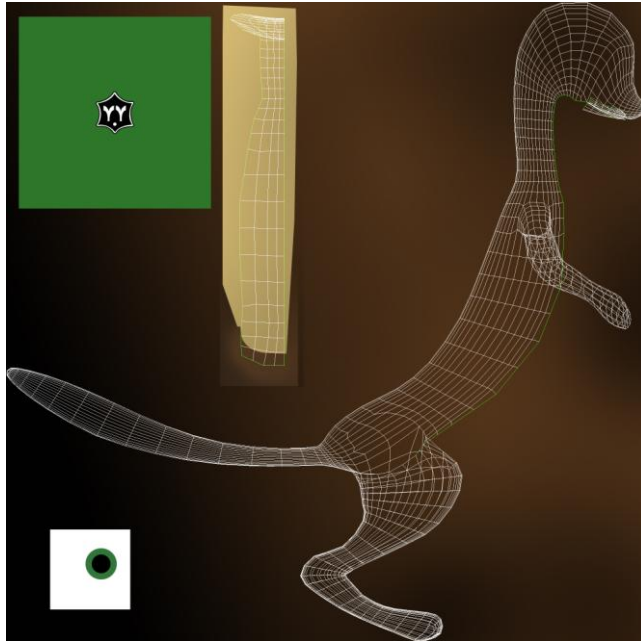
- itsevalaisevuus (self lighting)
 - kiiltävyys (specularity)
 - 3D-pinnoite (bump map, normal map ja displacement map)
- (Derakhshani – McFarland – Munn 2007, 277–278)

Valmiin materiaalin kääriminen kolmiulotteisen objektin ympärille ei ole aivan niin yksinkertaista kuin miltä se kuulostaa. Käärimisen toteuttamiseen käytetään niin kutsuttuja pinnoituskoordinaatteja (mapping coordinates). Alkuperäinen malli on määritetty X-, Y- ja Z-koordinaateilla kolmiulotteisessa tilassa. Kaksiulotteisen tekstuurikartan määrittämiseen objektin ympärille tarvitaan erillinen koordinaattijärjestelmä, jossa käytössä ovat U- ja V-koordinaatit. Tämä UV-koordinaatisto sisältää tiedot polygoneista ja siitä, kuinka mallinnusohjelma käärii kuvatiedoston pikselit kolmiulotteisen mallin polygoneihin. Pinnoituskoordinaattien automaattiseen määrittämiseen on useimmissa 3D-sovelluksissa muutamia erilaisia tapoja. Yksinkertaisimmillaan määrittäminen onnistuu tasokoordinaateilla (planar mapping), jossa materiaali heijastetaan objektiin valitun akselin suuntaisesti. Muut automatisoidut tavat käyttävät perusprimitiivejä apuna pinnoituskoordinaattien määrittämiseen. (Lehtovirta – Nuutinen 2000, 34; Summers 2004, 308–309.) Näitä pinnoituskoordinaattien automaattisia määrittystapoja geometristen perusmuotojen mukaan ovat muun muassa:

- Kuutio
- Pallo
- Sylinteri
- Kutistus

Materiaalin luominen alkoi kartoittamalla mallinnettu hahmo ja sen osat kaksiulotteiselle tasolle niin kutsutulla planaarisella kartoituksella. Tämä kartoitus sijoittaa halutun objektin UV-koordinaatistoon ennalta valitusta kulmasta tarkasteltuna. Kun kaikki objektit oli saatu kartoitettua planaarisesti, seuraava vaihe oli kartoittaa vartalon vatsapuolen vaaleammaksi teksturoitava alue sekä muokata UV-kartoituksia siten, että UV-kartan verteksit eivät olisi liian lähellä toisiaan. Tämän toimenpiteen ansiosta myöhemmässä vaiheessa objektiin lisättävän bittikartan pikselit eivät tule venymään niissä kohdin, joissa tekstuuri on yksityiskohtaisempi ja joissa verteksit ovat liian lähellä toisiaan verraten mallin rakenteeseen.

Bittikartan luomisen eli tekstuurin maalaamisen pohjana käytin valmista konseptikuvaa Veikko-maskotista. Bittikartan värit, jotka olivat alkuperäisen hahmon värityksen mukaiset, valitsin konseptikuvista väripipetillä Photoshop-ohjelmaan. Näillä väreillä maalasin hahmon konseptikuvan mukaisesti, kuitenkin ilman valotusta. Valotukset lisätään kuvaan myöhemmin renderöintivaiheessa.



Kuva 9. Vartalon UV-kartoitus ja tekstuuri.

Valmiin bittikartan lisäämiseksi projektiin loin 3D Studio Max -ohjelman materiaali-
editorissa uuden materiaalin. Tämän materiaalin valotusmalliksi asetin Ink-
valotusmallin. Valotusmallin valoisuus ei ole pehmeä gradientti kuten muissa valo-
tusmalleissa, vaan valon ja varjon kontrasti on jyrkkä, mikä saa materiaalin näyttä-
mään kaksiväritulosteelta.



Kuva 10. Valmis materiaali.

5.4 Rigaaminen

Kolmiulotteisen hahmon saaminen liikkumaan vaatii virtuaalisen luurangon määrittämistä. Kuten oikean elämänkin selkärankaisten, ovat virtuaalisetkin hahmot suunniteltu liikkumaan hahmon sisään rakennetun tukirangan kontrolloimana. Luurangon rakentaminen hahmolle mahdollistaa hahmon animoinnin. Tätä prosessia kutsutaan rigaamiseksi. (Anzovin – Anzovin 2005, 68.)

Luurangon tapaan rigi koostuu useista luista, joita animaattori voi manipuloida. Luut voidaan määrittää toimimaan kuten todellisten eläimien luut, niille voidaan asettaa rajoitteita liikkumisen suhteen jotta nivelet eivät taipuisi väärään suuntaan. Rigin rajoitteiden tulee olla luontevia rajoittamatta liikkeitä robottimaisen jäykiksi. Tämän vaikean tavoitteen saavuttamiseen käytetään luita, niveliä, etenevää ja käänteistä kinematiikkaa. (Anzovin – Anzovin 2005, 68.)

Tietääkseen luiden oikean järjestyksen luurangossa, täytyy 3D-ohjelmalle kertoa luiden hierarkia. Luurangon hierarkia on kuin puu, jolla on jolla on keskipiste ja josta leviää haarakkeita, kuten selkäranka ja raajat. Keskipisteenä käytetään yleensä hahmon lantiota, koska kaikki liike lähtee lantiosta ja kehon painopiste sijaitsee lantion seudulla. (Wyatt 2010, 98.)

Riippuen haarakkeissa käytetyiden luiden määrästä, voidaan luurangolle antaa enemmän tai vähemmän tarkkuutta. Luurangon tarkkuus kannattaa miettiä jo valmiiksi suunnitteluvaiheessa sillä luurangon tarkkuus määrittää paljon hahmon lopullista liikkeiden sulavuutta. Tämän lisäksi täytyy huomioida lopullisen hahmon mallin tarpeet liikkeen suhteen. Sarjakuvamaisen hahmon tumpukädet eivät tarvitse realistisesti niveltäviä ja taipuvia sormia, vaan luuranko voidaan yksinkertaistaa samalle tasolle mallin topologian kanssa. (Wyatt 2010, 98.)

Kun luuranko on määritelty valmiiksi niin rakenteellisesti kuin hierarkisestikin, on aika alkaa asettaa rajoja luiden liikkeille ja kääntymiselle. Näiden rajoitusten ansiosta niskaa voidaan estää kääntymästä 360 astetta ympäri tai kyynärpäätä ojentumasta yli normaalien fysikaalisten rajoitusten. Näiden rajoitusten ollessa määritettynä ja olettaen, että luurangon hierarkia on tehty oikeaoppisesti, luuranko voidaan alkaa asettaa eri asentoihin. Tätä prosessia varten on animoijaa auttamassa etenevä ja käänteinen kinematiikkaa, jotka saavat lapsiobjektien eli luurangon hierarkiassa alempana olevien objektien liikkeet vaikuttamaan hierarkiassa ylöspäin tai päinvastoin. (Wyatt 2010, 99.) Käytännön esimerkkinä voisi mainita käden asettelun eroista eri kinematiikkaa käytettäessä. Etenevässä kinematiikassa käsi asetellaan olkapään luusta eteenpäin, jolloin hauis, kyynärvarsi ja käsi asetellaan kaikki erikseen. Tämän etuna on se että jokainen käsivarren osio on juuri siinä asennossa missä animoija sen haluaa olevan. Käänteistä kinematiikkaa käytettäessä animoija voi tarttua hahmon käteen, ja sitä liikkuttamalla koko käsivarren asento muokkautuu sopimaan uuteen käden asentoon. Automatiikkaa käytettäessä hierarkian ja liikkeen rajoitusten tulee olla moitteettomassa kunnossa. Muutoin ohjelma asettelee isäobjektit luonnottomiin asentoihin.

Kasvojen rigaaminen hoidetaan yleensä erikseen muun vartalon rigaamisesta niin kutsutuilla leijuvilla luilla. Luut leijuvat, koska ne eivät ole varsinaisesti osa samaa hierarkiaa muun luurangon kanssa, vaan kasvon luiden keskipiste yhdistetään muulla tavoin pään liikkeisiin. Luiden tai kasvolihasten luominen muusta luurangosta erillisiksi osiksi johtuu käytännöllisistä syistä; animoijan on helpompi työskennellä vartalon liikkeiden kanssa, kun kasvon luut eivät ole häiritsemässä ja päinvastoin. (Wyatt 2010, 99.)

Kasvoanimointi voidaan tehdä muillakin tavoin kuin perinteisellä luurankomallilla. Esimerkiksi Maya 3D -ohjelmistolla voidaan kasvoanimaatio hoitaa Blendshape-

tekniikalla, jossa kasvoista muokataan useita eri ilmeitä ja näitä ilmeitä voidaan häivyttää keskenään toistensa kanssa. (Wyatt 2010, 99.)

Viimeinen rigaamisen vaihe on jokaisen luun testaaminen kääntelemällä ja taivuttelemalla niitä. Tätä tehdessä löytyy usein nivelkohtia, jotka eivät taivu toivotulla tavalla vaan ne käyttäytyvät kuin rullalle kääritty paperiarkki; mutkalle mennessään nivelkohta litistyy. Näin tapahtuu kun luurangon luiden vaikutusalueetta ei ole optimoitu mallin topologiaa varten. Tätä optimointitoimenpidettä kutsutaan skinnaamiseksi (skinning). Sen tarkoituksena on saada malli deformatumaan animoitaessa kuin sen ihon alla olisi oikeasti lihaa ja luita. Skinnaaminen suoritetaan muokkaamalla luiden vaikutusalueen laajuutta siten, että ne yltyvät vaikuttamaan niille kuuluviin vertekseihin. Taivekohtien luiden skinnaaminen tulee hoitaa tarkasti ja vaikutusalueiden asettelu limittäin olisi optimaalista, sillä silloin taiveen verteksit on painotettu asteittain kahden eri luun välille ja lopputuloksena on sulavasti kääntyvä taive ilman teräviä kulmia. (Wyatt 2010, 99.)

Työprosessi eteni rigaamisen osalta edellä mainittuja vaiheita mukailien, poislukien kasvojen rigaamisen, koska se olisi vienyt liikaa aikaa. Skinnaamisen eli hahmon liittäminen luurankoon aloitin käyttäen skin-muokkaajaa, mutta tarkastellessani rigin lopullista käyttäytymistä animoitaessa huomasin skin-muokkaajan aiheuttavan raajojen vääränlaista deformaatiota. Raajat litistyiivät todella ohuiksi, kun raajoja taivutettiin ääriasentoihin. Vaikka ongelman olisi pystynyt korjaamaan vaikutusalueita muokkaamalla, päätin käyttää vaihtoehtoisesti skin-muokkaajan sijaan hieman vanhempaa physique-muokkaajaa, koska olin tutustunut jo aiemmin tämän muokkaajan käyttöön. Luiden vaikutusalueiden optimoinnin jälkeen hahmo alkoi jo totella uskottavasti annettuja liikkeitä, eivätkä raajat litistyneet enää ääriasennoissa. Viimeinen optimointi oli päätös siitä, mihin väliin muokkaajapinoa laitan physique-muokkaajani. Tämä päätös määrittää sen, vaikuttaako physique-muokkaaja polygonien pehmennystä ennen vai jälkeen. Tähän asti olin hoitanut mallin pehmennyksen niin kutsutulla NURMS-toiminnolla hahmo-objektin pikavalikosta. Tämä tarkoitti sitä, että skinnaus-muokkaajani vaikutti jo pehmennettyyn malliin. Halusin kuitenkin kohdentaa skinnauksen ennen pehmennysoperaatiota, joten otin NURMS-pehmennyksen pois ja lisäsin muokkaajapinoon physique-muokkaajan jälkeen Meshsmooth-muokkaajan joka pehmentää mallin rosoja samaan tapaan kuin aiemmin mainittu NURMS-toiminto.



Kuva 11. Rigi valmiina skinnattavaksi.

5.5 Animointi

Yleisesti tietokoneanimaation animoimisella tarkoitetaan liikkeen määrittelyä avainruutujen avulla. Ohjelma laskee avainruutujen väliin jäävät ruudut. Esimerkiksi pallon lattialle putoamisen animointi tapahtuisi siten, että määritetään pallon sijainti liikkeen yläosassa aikajanan kohdalla 0 ja liikkeen alaosan sijainti kohdalla 100. Ruudut 1–99 kone animoi itse ennalta valitun kiihtyvyysetsätyksen pohjalta. Pallo voidaan laittaa pysähtymään liikkeen ala-asentoon kuin se jämähtäisi tervaan tai hidastaen eksponentiaalisesti sen liikettä, kuin animoitava esine olisi pingispallo hiustenkuivaimen yllä. Tätä manuaalista avainruutujen määrittämistä kutsutaan matalan tason tekniikaksi. (Lehtovirta – Nuutinen 2000, 52.)

Korkean tason tekniikassa simuloidaan luonnonlakeja. Animaatiossa mukana olevien objektien liike syntyy painovoiman, tuulen, magnetismin ja kappaleiden keskinäisten törmäysten vaikutuksesta. Animaattori ei itse määrittele objektien liikettä, vaan luo sellaisen asetelman, joka johtaa halutunlaiseen simuloituun liikkeeseen. Animaattori ei siis jää täysin toimeettomaksi, vaan hänellä on tapoja vaikuttaa tapahtumien kulkuun. Aiempi palloesimerkki onnistuisi korkean tason tekniikalla määrittämällä painovoiman, lattiatason ja pallon paikan, massan sekä sen alkunopeuden ja suunnan. Ohjelma laskee lopullisen animaation näiden parametrien pohjalta ja pallo pomppaa lattialta. (Lehtovirta – Nuutinen 2000, 53–54.)

Matalan tason animaation tekniseen toteutukseen on kaksi eri työskentelytapaa. Animaatio voidaan muodostaa keyframanimaationa tai suoraan etenevänä. Keyframeanimaatio on työskentelytapana erittäin tarkka ja suuret studiot käyttävätkin usein tätä tapaa. (Gauthier 2005, 156.) Animaattori pudottelee avainruutuja pitkin animaatiota, ja myöhemmin hän tai assistentti lisää ruutujen välille lisää avainruutuja, tarkentaen liikettä. Tämän työskentelytavan ansiosta voidaan ajoittaa animaation tapahtumat tarkalleen ennalta määrättyyn hetkeen aikajanalla. Suoraan etenevässä työskentelytavassa animaattori luo animaation kronologisessa järjestyksessä. Tämän työskentelytavan vahvuutena on, että liikkeistä tulee dynaamisia ja spontaaneja. Tätä työskentelytapaa kannattaa kuitenkin käyttää vain tilanteen niin vaatiessa, sillä usein liikkeet voivat olla päämäärättömän näköisiä ja animaatio saattaa venyä liian pitkäksi. (Wyatt 2010, 90.)

Animoinnin toteutus omassa projektissani alkoi luomalla aikajanalle pisteitä ja asentoja, jotka toimisivat liikettä ja toimintaa rytmittävinä pisteinä. Koko animaation pituudelle en kuitenkaan luonut näitä avainruutuja, koska suuressa osassa animaatiota on toistuvaa liikettä, joka on järkevintä tehdä kertaalleen ja sitten toistaa tätä liikettä useampaan kertaan, kuitenkin lisäten hieman variaatiota liikkeisiin liiallisen toiston välttämiseksi.

Itse toistettava juoksuanimaatio syntyi samalla tapaa kuin muukin animaatio avainruutujen avulla iteratiivisena prosessina. Hahmottelin liikkeen ensin neljän avainruudun avulla, jonka jälkeen lisäsin avainruutujen välille liikettä tarkentavia avainruutuja. Yhden askeleen luotuaani käytin animointiohjelman hahmoanimoinnin työkaluja avainruutujen kopioimiseen ja kääntämiseen siten, että vasemman jalan sijaan oikea jalka ponnistaa maasta.

Koska animaationi sisältää vain vähän muita objekteja itse hahmon lisäksi, oli kätevää luoda muu maailma liikkuvaksi hahmon ympärillä. Tämän sain aikaan luomalla yhden valeobjektin joka matkaa maailmassa taaemmas mitä pidemmälle hahmo juoksee animaatioissa. Objektien liikkeiden liittäminen valeobjektiin ei ole yhtä työläs operaatio kuin rigaaminen, esineet voidaan linkittää kokonaisuudessaan toisiinsa parilla napin painalluksella. Nämä esineet eivät voineet jäädä kuvaan näkyviin sen jälkeen kun hahmo on ohittanut ne. Tämän takia animoin myös kyseisten objektien materiaalin siten, että materiaali hälvenee näkymättömiin.

Animaation loppuvaiheessa, hahmon juostessa maalinauhan läpi, päätin hyödyntää korkean tason tekniikkaa nauhan animoimiseen. Tämä vaati parin luonnonvoiman, painovoiman ja tuulen, määrittämistä sekä itse maalinauhan verteksien määrittämistä joko animoitaviksi tai virtuaaliseen maailmaan sidotuiksi. Maailmaan sidotut verteksit ovat käytännössä maalinauhan päät jotka on sidottu johonkin kiinteään ja eivät siten pääse liikkumaan minnekään. Vaikka olisi ollut mahdollista käyttää animoitua hahmoa nauhan ja hahmon törmäyksen simuloinnissa päätin silti käyttää yksinkertaista sylinteriä hallitumman lopputuloksen saavuttamiseksi. Olosuhteiden valmistuttua simuloin animaation, jonka jälkeen oli mahdollista hienosäätää animaation ajoitus ja linkittää maalinauha valeobjektiin, joka liikuttaa animaation objekteja.

Kasvojen animointiin käytin blendshape-tekniikan tapaista toteutusta. Muokkasin kasvoista pari erilaista ilmettä ja sijoitin näitä ilmeitä aikajanelle sopiviin kohtiin. Kasvoanimaatiota ei kuitenkaan tarvinnut liioitella kuten vartaloa animoidessa. Se olisi saattanut olla jopa ylimitoitettua.

5.6 Renderöinti ja post process

Renderöinti vaatii paljon prosessoritehoa. Tietokoneen täytyy laskea miljoonia laskutoimituksia renderöitävän kuvan pinnoista, geometriasta ja materiaaleista jokaiselle renderöitävälle kuvalle erikseen. Suuret elokuvastudiot käyttävät useamman tietokoneen renderöintifarmeja nopeuttaakseen renderöintiurakkaa, mutta siitä huolimatta yhden ruudun renderöintiin voi mennä useita tunteja. Käytettävän renderöintikoneiston teho täytyy ottaa huomioon jo suunnitteluvaiheessa, koska itse renderöintivaihe voi viedä useita viikkoja. (Wyatt 2010, 110)

Renderöintiurakan vaativuuteen vaikuttaa, paitsi renderöitävän kuvan geometria ja materiaalit, myös valittu renderöintitekniikka. Yksinkertaisin ja nopein tekniikoista on pyyhkäisyjuova-renderöinti (scanline rendering). Säteenseuranta-renderöinnillä (ray tracing) pystytään renderöimään realistisia heijastuksia ja valontaittoefektejä, mutta näiden tehosteiden renderöinti pidentää renderöintiäikää huomattavasti. Radiositeettilaskennan avulla saadaan luotua luonnonmukaisin valaistus. Radiositeettilaskenta ottaa huomioon sekä valon heijastumisen että valon absorboinnin pintaan valon osuessa eri pintoihin. (Lehtovirta – Nuutinen 2000, 46.)

Tähän projektiin käytössäni oli vain yksi tietokone renderöintiä varten, joten renderöinnin piti olla mahdollisimman kevyt. Animaatiokatkkelma ei sisältänyt materiaaleja tai valaistustehosteita, joiden takia animaatioissa olisi ehdottomasti täytynyt käyttää säteenseuranta-renderöintiä tai radiositeettilaskentaa. Oli siis mahdollista käyttää nopeinta pyyhkäisyjuova-renderöintiä menettämättä kuvanlaadussa mitään.

Liike-epätarkkuus saa liikkeen näyttämään luonnollisemmalta, nopeasti kameran edessä liikkuvat esineet näyttävät jollain tapaa väärältä katsojan silmissä jos niissä ei ole liike-epätarkkuutta (Livny 2008, 259–260). Tämä tehoste lisää renderöintiäikää hieman, mutta koska projektini renderöityi animointiohjelmassa parissakymmenessä minuutissa katsoin että tämän tehosteen lisääminen oli mahdollista. Nopea renderöintiäika mahdollisti myös parempilaatuisen anti-aliasoinnin eli reunapehmennyksen käyttöä

Renderöin animaatiokatkelman kuudenkymmenen kuvan sekuntinopeudella kolmessa eri sarjassa. Ensimmäinen sarja sisälsi itse hahmon, lavasteiden ollessa toisessa ja kolmannessa sarjassa. Tämän sarjoihin jaetun järjestelmän ansiosta videon jälkikäsittelyssä on enemmän säätämistä.

Jälkikäsittelyvaiheessa lisäsin animaatioon Jukolan Viesti -tapahtuman infomaatiografiikat ja tasapainotin eri elementtien värejä sointumaan paremmin toistensa kanssa.

6 POHDINTA

6.1 Jatkokehitys

Tässä opinnäytetyössäni tekemä tuotanto on osa mainoskampanjaa, mutta kuinka tästä olisi mahdollista jatkaa tai laajentaa? Ensinnäkin katkelmaan tulisi lisätä äänitehosteita ja musiikkia äänisuunnittelijan toimesta. Seuraavissa animaatiokatkelmissa Veikkomaskotti voisi seikkailla huolettomasti metsämansikoita poimien suunnistuksen lomassa tai etsien rasteja mitä erikoisimmista paikoista. Koska animaation perusta on nyt luotu, olisi samantyylisten animaatioiden tuottaminen suhteellisen edullista.

Internetsivulla olevan mainoksen lisäksi oli puhetta asiakkaan kanssa itse Jukolan Viesti -tapahtumassa näytettävistä animaatiokatkelmista, jotka värittäisivät tulostaulujen normaalisti harmaata ohjelmatarjontaa. Paikan päällä näytettävissä animaatioissa

Veikko-maskotti voisi toimia tunnelmannostattajana ja kannustaa kilpailijoita kovempiin suorituksiin.

Mallinnusten tarkkuus on suunniteltu lähinnä internetkäyttöön, mutta materiaali sopisi hyvin televisioon. Animaatiokatkemat on suunniteltu noin viidentoista sekunnin pituisiksi joten pituutensakin puolesta katkelmat sopisivat televisioon. Visuaaliseen ilmeeseen olisi mahdollistaa panostaa hieman enemmän televisiomainoksessa. Tausta on sellainen että se säästää internet-kaistaa mutta tästä ei televisiomainoksessa tarvitse huolehtia.

Sanomalehti-ilmoitukset on toinen hyvä kohde jossa tämän projektin tuotoksia voitaisiin käyttää hyödyksi. Bannerimuotoinen internetmainos muuntuu itse asiassa hyvin helposti printtimainokseksi, ja animaattorille jää vain hahmon asettelu sopivaan asentoon.

6.2 Mitä opin?

Tämä projekti erosi muista harrasteprojekteistani eniten suuren henkilökohtaisen työmäärän muodossa. Tämä onkin ollut hyvä tapa pyrkiä eroon harrastelijamaisesta loputtomasta yksityiskohtien puunaamisesta maailman loppuun asti kohti ammattimaisempaa tekemistä. Resurssit, kuten aika, ovat rajalliset, ja niiden tehokkain käyttökohde täytyy miettiä tarkkaan.

Kokonaisuuden hahmottaminen ja sen muokkaaminen oli myös uusi asia, jota ei ole aiemmissa projekteissa koulun tai harrastuksen parissa päässyt kokemaan. Hyvän suunnittelun ja kokemuksen tärkeys kävi myös ilmi; mallinnus ja materiaalien teko eteni hyvin, mutta kokemuksen vähyys skinnauksessa aiheutti hidastuksia projektiin.

Animaation teoriaa olin opiskellut jo aiemmin, mutta tässä projektissa pääsin kokeilemaan eri tekniikoita käytännössä hieman laajemmassa mittakaavassa. Hahmoanimaatio vaatii kärsivällisyyttä ja usean pienemmän osan, kuten liikkeiden päällekkäisyyden ja toiminnan ajoituksen, yhdistämistä luonnollisesti liikkuvaksi kokonaisuudeksi.

6.3 Mitä mahdollisesti toisin?

Animaatio olisi voitu myös toteuttaa kaksiulotteisena animaationa. Kaksiulotteisen animaation etuna kolmiulotteiseen animaatioon verrattuna olisi ollut alhaisempi alkupanos. Kolmiulotteista animaatiota tehdessä vain muutaman sekunnin katkelmaan vaaditaan usein kuukausien työ. Kaksiulotteisen animaation työmäärä skaalautuu lineaarisemmin animaation pituuden mukaan, kun animoidaan perinteisesti kuva kerrallaan. Osana isompaa kampanjaa kolmiulotteisen animaation edut tulevat kuitenkin paremmin esiin; alkupanostus on tehty, ja projektin jatkokehitys olisi luultavasti halvempaa kolmiulotteisen animaation keinoin.

Projektin toteuttamisen heikkoutena oli aika ja ajankäyttö. Aiheen rajaamisen miettimiseen olisi pitänyt käyttää enemmän aikaa, ja kenties projekti olisi pitänyt jakaa pienempiin osakokonaisuuksiin ja jakaa toisen opiskelijan kanssa. Tällöin projekti olisi pysynyt paremmin aikataulussa ja jälki olisi ollut laadullisesti hiotumpaa.

6.4 Miten suoriuduin?

Mallinnuksen ja teksturoinnin osalta onnistuin varsin hyvin, mallinnettu hahmo ja sen teksturointi vastasi riittävän hyvin ennalta laadittua hahmosuunnitelmaa. Hahmon rakenne olisi voinut olla hieman siistitympi mutta ylimääräiset polygonirivit hahmon jaloissa eivät haitanneet hahmon animointia tai aiheuttaneet visuaalisia virheitä renderointivaiheessa.

Skinnaamisesta minulla oli henkilökohtaisesti vähiten kokemusta eikä tätä toimintoa käyty läpi koulun kurseillakaan. Tämä olikin työn vaihe jossa jouduin tekemään työvaiheen uudestaan päästäkseni haluamaani lopputulokseen. Loppujen lopuksi hahmon skinnaus onnistui suhteellisen hyvin. Hahmo deformatui vaadittuihin asentoihin ilman huomattavaa raajojen litistymistä. Yksi virhe kuitenkin on nähtävissä hahmon reiden noustessa ääriasentoon, skinnaus ei ole ollut tarpeeksi tarkkaa tältä kohdilta, ja valaistuksessa näkyy pientä epätasaisuutta.

Ottaen huomioon että opintosuunnitelmaani ei kuulu kuin muutamia kolmiulotteisen grafiikan toteuttamisen peruskursseja, kaiken muun tiedon hankittuani itsenäisesti vuosien mittaan tunnen, että olen kokonaisuudessaan onnistunut suorituksessani hyvin.

LÄHTEET

- Ahearn, L. 2009. 3D game textures: create professional game art using Photoshop. Burlington: Focal Press. Saatavissa: http://books.google.com/books?id=5rYc_vYy5QMC&printsec=frontcover&hl=fi#v=onepage&q&f=false [viitattu 26.4.2011].
- Anzovin, S. & Anzovin R. 2005. 3D toons: creative 3D design for cartoonists and animators. Hauppauge: Barron's.
- Bohl, A. 1997. Guide to Cartooning. Gretna: Pelican Publishing Company. Saatavissa: http://books.google.com/books?id=xz4QUwcPp_8C&lpg=PA107&dq=animation%20history%20flip%20book&hl=fi&pg=PA4#v=onepage&q=animation%20history%20flip%20book&f=false [viitattu 25.4.2011].
- Daniele, T. 2009. Poly-Modeling with 3ds Max: Thinking Outside of the Box. Burlington: Focal Press.
- Derakhshani, D. & McFarland, J. & Munn, R 2007. Introducing 3ds Max 9: 3D for Beginners. Indianapolis: Wiley Publishing Inc. Saatavissa: <http://www.google.com/books?id=aBi3cRNY0EwC&lpg=PP1&dq=related%3AISBN0240810929&hl=fi&pg=PR4#v=onepage&q&f=false> [viitattu 25.4.2011].
- Gahan, A. 2008. 3DS Max, Modeling for Games. Burlington: Focal Press.
- Gartz, J. 1978. Animaatioelokuvat. Helsinki: Suomen elokuvasäätiö.
- Gauthier, J. 2005. Building interactive world in 3D. Amsterdam: Focal Press.
- Keränen, V. 2005. Digitaalinen Media. Jyväskylä: Docendo.
- Krasner, J. 2004. Motion graphic design & fine art animation: principles and practice. Saatavissa: <http://www.google.com/books?id=dMphbI49RNUC&lpg=PR7&ots=ecgXI6PVUV&dq=animation%20principles&lr&hl=fi&pg=PR1#v=onepage&q&f=false> [viitattu 25.4.2011].

- Lanzoni, R. 2002. French cinema: from its beginnings to the present. New York: The Continuum International Publishing Group Inc. Saatavissa:
<http://books.google.com/books?id=Nkyr7ARHY6sC&lpg=PA436&dq=1908%20emile%20cohl&hl=fi&pg=PA4#v=onepage&q=1908%20emile%20cohl&f=false> [viitattu 24.5.2011].
- Lehtovirta, P. & Nuutinen K. 2000. 3D-sisältötuotannon käsikirja. Jyväskylä: Docendo.
- Livny, B. 2008. Mental ray for Maya, 3ds max, and XSI: a 3d artist's guide to rendering. Saatavissa: <http://xhalax-ng.kyamk.fi:2048/login?url=http://site.ebrary.com/lib/kyam/Doc?id=10226913> [viitattu 30.3.2011].
- Machover, C. 1978. A Brief. Personal history of computer graphics. Computer 11/1978, s. 38-45. Saatavissa: http://www.evl.uic.edu/datsoupi/502/14_mach.pdf [viitattu 28.3.2011].
- Nowell-Smith, G. 1997. The Oxford History of World Cinema. Oxford: Oxford University Press.
- Puhakka, A. 2008. 3D-grafiikka. Helsinki: Talentum.
- Rutenbeck, J. 2006. Tech terms: what every telecommunications and digital media person should know. Burlington: Focal Press. Saatavissa:
<http://books.google.com/books?id=xGMB9vIV5V8C&printsec=frontcover&hl=fi#v=onepage&q&f=false> [viitattu 26.4.2011].
- Stevens, R. 2002 Computer graphics dictionary. Hingham: Charles River Media, Inc. Saatavissa:
<http://books.google.com/books?id=XqIJcMi1Pi0C&printsec=frontcover&hl=fi#v=onepage&q&f=false> [viitattu 24.4.2011].
- Summers, D. 2004. Texturing: concepts and techniques. Saatavissa: <http://xhalax-ng.kyamk.fi:2048/login?url=http://site.ebrary.com/lib/kyam/Doc?id=10066526> [viitattu 29.3.2011].

Thomas, F. & Johnston O. 1981. *The Illusion of Life: Disney Animation*. New York: Hyperion.

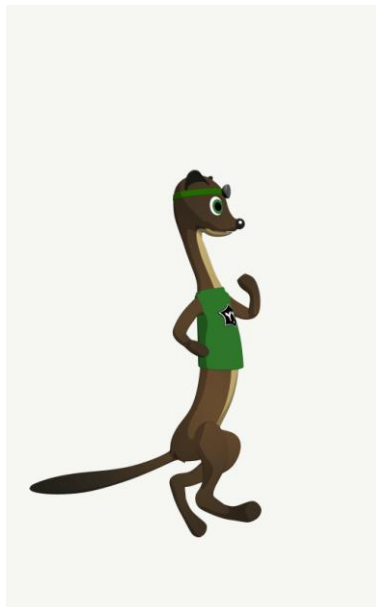
White, T. 2006. *Animation from pencils to pixels: classical techniques for digital animators*. Burlington: Focal Press. Saatavissa:

<http://www.google.com/books?id=oyzBquuOULMC&lpg=PP1&dq=related%3AISBN0240804821&hl=fi&pg=PR4#v=onepage&q&f=false> [viitattu 25.4.2011].

Wyatt, A. 2010. *The Complete Digital Animation Course*. Lontoo: Thames&Hudson.



Renderöinti lopullisesta animaatiosta.



Vertailua hahmokonseptin ja lopullisen mallinnuksen välillä.