

Lauri Inkeroinen

3D-grafiikan hyödyntäminen yritysvideossa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Mediatekniikan koulutusohjelma

Insinöörityö

6.5.2014

Tekijä Otsikko	Lauri Inkeroinen 3D-grafiikan hyödyntäminen yritysvideossa
Sivumäärä Aika	42 sivua 6.5.2014
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Mediatekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Digitaalinen media
Ohjaaja	Yliopettaja Erkki Rämö
<p>Insinöörityön tarkoituksena oli selvittää, millä aloilla 3D-grafiikka voidaan hyödyntää. Tarkoituksena oli myös selvittää 3D-grafiikan käyttämisen etuja ja ongelmia. Lisäksi otettiin selvää, mihin suuntaan ala on kehittymässä ja mitä laadukkaan 3D-sisällön luominen edellyttää. 3D-sisällöntuotantoa tutkittiin myös käytännössä luomalla 3D-grafiikkaa sisältävä yritysvideo.</p> <p>3D-grafiikan käyttömahdollisuuksiin perehdyttiin tarkastelemalla 3D-grafiikan luomisen työnkulkua. Työssä tutkittiin 3D-grafiikan tuottamisen eri vaiheita ja työtapoja, ja samalla luotiin nopea katsaus eri työtapoja hyödyntäviin 3D-ohjelmiin ja erilaisiin työtapoihin. Tutkimuksen lisäksi työssä toteutettiin 3D-malli testiradasta: 3D-radalta luotiin lyhyitä kamera-ajoja, joista koostettiin yhdessä valmiiksi kuvatun videomateriaalin kanssa lyhyt esittelyvideo. 3D-kamera-ajojen käyttö teki videosta monipuolisemman ja auttoi hahmottamaan testipisteiden sijaintia radalla.</p> <p>3D-grafiikalle löydettiin paljon käyttökohteita, jotka vaihtelivat tuotekehityksestä ja koulutuskäytöstä viihdekäyttöön. Uusimmat tekniikat ovat ilmestyneet vasta viime aikoina. Laadukkaan 3D-sisällön luomisen todettiin olevan haastavaa. Edellytyksenä laadukkaan 3D-sisällön tuottamiselle on tarpeellinen panostus esituotantovaiheeseen, oikeiden työtapojen ja työkalujen valitseminen ja jatkuva itsensä kehittäminen. 3D-sisällön tuottaminen on suhteellisen hidasta ja siksi kallista. Esituotantovaiheessa projektille on hyvä laatia realistinen budjetti ja aikataulu ja määritellä haluttu laatutaso. Jos nämä ominaisuudet eivät kohtaa järkevässä suhteessa, on projektissa tehtävä kompromisseja.</p>	
Avainsanat	3D-mallinnus, visualisointi, videotuotanto

Author Title	Lauri Inkeroinen The use of 3D graphics in corporate video
Number of Pages Date	42 pages 6 May 2014
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Media Technology
Specialisation option	Digital Media
Instructor	Erkki Rämö, Principal Lecturer
<p>The purpose of the thesis was to find out in which lines of business 3D graphics can be utilized. The purpose was also to find out the advantages and disadvantages of using 3D graphics. Part of the thesis was also to find out future industry trends and what it takes to create high quality 3D content. 3D content production was researched in practice by making a corporate video.</p> <p>The use of 3D graphics was explored by following the 3D content workflow in practice. Different ways of creating 3D graphics and the software for these workflows was researched. In addition to the research a 3D model from a certain test track was created. A series of camera fly outs were made in the 3D track. The use of these fly outs made the video more versatile and helped the viewers to figure out the location of the test points at the track.</p> <p>3D graphics turned out to have many possible uses varying from product development and training purposes to entertainment. Most recent techniques are a result of emerging of new technologies. It was found out that creating high quality 3D content is challenging, it requires that pre-production is done with care. Choosing the right tools and workflows for the right job and being constantly able to develop one's skills is also essential. 3D content creation is also quite slow and therefore expensive. It is crucial that the project has a realistic budget, reasonable schedule and a predetermined level of quality, if these factors are not met in reasonable proportions some compromises have to be made.</p>	
Keywords	3D modeling, visualization, video production

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	3D-grafiikan käyttökohteet	2
3	3D-visualisointi	4
3.1	3D-visualisoinnin toteutus	4
3.2	Referenssimateriaali	6
3.3	3D-grafiikan luominen	7
3.4	3D-kappaleen koostumus	11
3.5	3D-mallinnustekniikat	12
3.6	UV-kartoitus	16
3.7	Varjostimet	17
3.8	Valaisu	18
4	3D-animaatio	21
5	Renderöinti	25
6	3D-grafiikan tulevaisuus	27
7	Nokian renkaiden Nokian-testiradan esittelyvideo	29
8	Yhteenveto	38
	Lähteet	41

Käsitteet

Fotorealismi	Valokuvamaiseen todenmukaisuuteen pyrkivä tyyli.
Primitiivi	3ds Maxista valmiina löytyvä kappale.
Proseduraalinen	Sääntöpohjainen, ennalta määritettyihin sääntöihin pohjautuva.
Renderöinti	Kuvan luominen 3D-mallista 3D-sovelluksen avulla.
Riggaus	3D-animaation työvaihe, jossa 3D-mallille luodaan hallintakehikko animointia varten.
Spline	Matemaattiseen määritelmään pohjautuva käyrä.
Skene	3D-tiedoston sisältämä tila-avaruus, johon kaikki 3D-kappaleet sijoitetaan.
Tekstuuri	Kontekstista riippuen pinnan muotoja määrittelevä ominaisuus tai kuva, jota käytetään 3D-kappaleen pinnoittamiseen.
Viewport	Ikkuna 3ds Maxin tila-avaruuteen.

1 Johdanto

Insinööriyön tarkoituksena on toteuttaa esittelyvideo ja 3D-malli Nokian renkaiden Nokian-testiradasta. Videon on tarkoitus antaa yleiskuva testiradasta ja sen erityisominaisuuksista rataa käyttävälle henkilöstölle. Nokian testiradan havainnollistamiseen käytetään 3D-visualisointia. Testiradasta luodaan 3D-malli Metropolia Ammattikorkeakoulun maanmittaustekniikan opiskelijoiden ottamien ilmakuvien ja laserkeilatun pistepilven perusteella. Videon havainnollisuutta ja mielenkiintoisuutta pyritään lisäämään hyödyntämällä 3D-animaation tekniikoita. Video koostetaan Alasinmedian kuvaamista videopätkistä ja 3D-animoduista kamera-ajoista.

Työn tavoitteena on lisäksi selvittää 3D-grafiikan ja 3D-visualisoinnin käyttökohteita. Työssä perehdytään tietokoneella luodun 3D-grafiikan tarjoamiin mahdollisuuksiin, haasteisiin sekä etuihin ja ongelmiin. Työssä tutkitaan lyhyesti osaa suosituimmista 3D-ohjelmistoista ja niiden käyttötarkoituksia. Työn on tarkoitus antaa kattava käsitys nykyaikana käytettävistä mallinnustekniikoista ja tavoista sekä tämän hetken suosituimmista ohjelmistoista. Varsinaisessa mallinnustyössä käytetään 3ds Max -ohjelmistoa, koska se on ominaisuuksiltaan projektiin sopiva ja siitä on työn tekijällä aikaisempaa kokemusta.

Työn tarkoituksena on myös tarkastella 3D-visualisoinnin työvaiheita ja perehtyä niiden haasteisiin ja ongelma-kohtiin. 3D-visualisoinnissa haastavuutta lisää usein pyrkimys realistiseen lopputulokseen. Siihen päästään tarpeeksi yksityiskohtaisten ja tarkkojen 3D-mallien, tekstuurien ja oikeanlaisen valaistuksen avulla. Yksityiskohtien lisääminen 3D-malliin lisää aina mallin monimutkaisuutta ja mallintamiseen kuluva aikaa. Aikaa vie paljon myös realististen valojen ja varjojen laskenta, joka on todella raskasta. Monimutkaisemman ja enemmän yksityiskohtia sisältävän mallin varjojen laskemiseen kuluu aina pitkä aika. Eräs työn haasteista onkin tarpeeksi realistisen liikkuvan kuvan toteuttaminen. Liikkuvan kuvan eli animaation tuottaminen kestää huomattavasti pidempään kuin stillikuvan, sillä liikkuva kuva koostuu aina yksittäisistä stillikuvista. Yksi työn suurimmista haasteista on löytää oikea tasapaino realistisuuden, 3D-ympäristön yksityiskohtien määrän ja stillikuvien käytettävän laskenta-ajan välillä.

2 3D-grafiikan käyttökohteet

3D-grafiikalla on monia käyttökohteita, ja sen suosio kasvaa jatkuvasti. 3D-grafiikkaa hyödynnetään laajalti elokuvissa, TV-sarjoissa, mainoksissa ja peleissä, mutta se on vakiinnuttanut paikkansa myös viihdemaailman ulkopuolella, muun muassa teollisen suunnittelun, lääketieteen, simulaatioiden, esitysgrafiikan sekä tuote- ja arkkitehtuurivisualisoinnin alueilla. 3D-grafiikan avulla voidaan esimerkiksi turvallisesti ja edullisesti simuloida vaarallisia ja vaativia työtilanteita, teollisia prosesseja ja erilaisten koneiden toimintaa ja opettaa oikeita toimintatapoja vaativiin työolosuhteisiin, kuten ydinvoimalaan tai lennonjohtoon. Virtuaalinen 3D-malli on usein myös kustannustehokas tapa visualisoida olemassa olevaa tai suunnitteilla olevaa rakennusta tai rakennelmaa. 3D-visualisoinnin avulla voidaan myös havaita tuotekehityksen tai kaavoituksen käytännön ongelmia ennen projektin jatkokehittämistä tai tuotannon aloittamista. 3D-grafiikasta on tullut olennainen osa suunnittelua, tuotekehitystä, testausta ja visualisointia. 3D-grafiikan käyttökohteita ovat esimerkiksi:

- 3D-tulostus
- arkkitehtuurinen visualisointi
- erikoistehosteet
- esitysgrafiikka
- koulutus
- kuvasuunnittelu (valokuvaus)
- kuvitus
- käyttöliittymät
- lisätty todellisuus (Augmented Reality)
- lääketiede
- mainonta
- muotoilu ja tuotekehitys
- rekonstruktio
- simulaatio
- tiedotus
- videopelit
- web3D. [1.]

3D-grafiikan etuihin kuuluu sen helppo ja nopea muokattavuus. 3D-malli on tässä suhteessa edullinen ja kustannustehokas verrattaessa tavanomaiseen pienoismalliin. 3D-grafiikan avulla voidaan myös helposti ja nopeasti toteuttaa erilaisia leikkaus- ja räjäytyskuvia, joiden fyysinen toteutus edellyttäisi pienoismalliin tai tuoteprototyypin rakentamista sekä rikkomista tai pilkkomista. Pienoismalliin muuttaminen on hidasta, mutta valmiin 3D-mallin rakenteen tai jonkin osan materiaalien vaihtaminen on nopeaa ja suhteellisen vaivatonta pienoismalliin verrattuna. 3D-mallin siirrettävyys on myös huippuluokkaa, koska se on vain digitaalinen tiedosto. Tarvittaessa 3D-malli voidaan kuitenkin myös tulostaa fyysiseksi kappaleeksi 3D-tulostimen avulla. Lisäksi 3D-grafiikan avulla voidaan myös havainnollistaa liikettä ja erilaisia tapahtumia, reaktiota ja ilmiöitä, kuten luonnonilmiöiden vaikutusta ympäristöön, esimerkiksi vedenpinnan korkeuden vaihtelua. Vastavien havainnollistusten toteuttaminen pienoismallilla on vaativaa tai tapauskohtaisesti mahdotonta. [1.]

Nykyaikana 3D-malleja voidaan esittää kolmiulotteisissa tilassa erilaisten 3D-näyttötekniikoiden avulla. Stereoskooppisen 3D-efektin aikaansaamiseksi tarvitaan yleisesti 3D-lasit, mutta tulevaisuudessa 3D-malleja voidaan tarkastella kolmiulotteisessa tilassa erilaisten holografisten näyttöjen avulla. 3D-kappaleita voidaan myös tarkastella ilman 3D-laseja kolmiulotteisessa tilassa lisätyn todellisuuden tekniikoilla. Tällöin tarvitaan kuitenkin QR-koodi, jonka päälle 3D-malli asettuu, kamera lukulaitteeksi ja näyttö, jossa 3D-malli näkyy. [2.]

Tärkeän ennakkotiedon lisäksi 3D-grafiikka mahdollistaa kuvamateriaalin saamisen vaikeista tai mahdottomista (ja myös fiktiivisistä) olosuhteista. 3D-ohjelmistoilla voidaan esimerkiksi luoda kamera-ajoja, joiden kuvaaminen olisi fyysisesti lähes mahdotonta tai kallista. Tästä esimerkkinä ovat työssä käytetyt nopeat, korkealta maanpinnan tasolle laskeutuvat kamera-ajot, joiden fyysiseen toteutukseen tarvittaisiin oikean kaluston, gyrokopterin ja sen lentokokemuksen lisäksi myös optimaalinen sää.

3D-grafiikan käytössä on omat etunsa, mutta sen tehokas hyödyntäminen edellyttää paljon suunnitelmallisuutta. Ennen varsinaista mallinnusvaihetta tehtävää työtä kutsutaan esituotantovaiheeksi. Esituotantovaiheen merkitys on usein suuri projektin onnistumisen kannalta, sillä hyvin tehty esituotanto helpottaa ja nopeuttaa työn tekemistä huomattavasti. Esituotantovaiheessa pyritään keräämään mahdollisimman paljon ja monipuolista mallinnuskohteeseen liittyvää tietoa. Tieto sisältää yleensä erilaisia mittoja, määrityksiä,

konsepti-, kuvituskuvia ja valokuvia eri kuvakulmista sekä kuvia kohteen tai kohteen osien eri versioista. Esituotantovaiheessa on myös tärkeää kartoittaa 3D-mallilla saavutettavat edut ja arvioida mallin hyödyllisyyttä. Esituotannossa tulee huomioida mallin käyttötarkoitus ja yksityiskohtaisuus. Tapauksesta riippuen malli saattaa osoittautua turhaksi, jos sille ei ole selkeää käyttötarkoitusta tai siinä ei ole riittävästi yksityiskohtia. Liiallinen yksityiskohtien määrä puolestaan lisää työmäärää ja samalla pidentää tuotantoaikaa ja lisää kustannuksia. [1.]

3 3D-visualisointi

3.1 3D-visualisoinnin toteutus

3D-visualisoinnin tavoitteena on luoda realistisen oloinen virtuaalinen kopio valmiista fyysisestä objektista, tuotteesta tai suunnitelmasta. Suurin osa 3D-visualisoiduista rakennelmista esitetään stillkuvina, sillä fotorealistisen lopputulokseen pääseminen edellyttää laskennallisesti raskaiden valaistustekniikoiden käyttöä, jolloin yhden kuvan renderöimiseen saattaa helposti kulua useita tunteja. Renderöidyt kuvat eivät yleensä ole vielä valmiita, vaan niitä usein työstetään kuvankäsittelyohjelmassa tapauksesta riippuen jopa kymmenien tuntien ajan. Esimerkkinä visualisoinnista eri tekniikoilla renderöidyt talot kuvissa 1 ja 2.



Kuva 1. 3ds Maxilla ja Photoshopilla luotu fotorealistinen ympäristö. Ympäristö sisältää noin 900 miljoonaa polygonia. [3.]

Stillkuvia yhdistämällä voidaan luoda myös liikkuvaa kuvaa. 3D-animaatio kootaan yksittäisistä stillkuvista, joita esitetään yleensä elokuvista tutulla vähintään 24 kuvan kuva-
taajuudella. Yhden sekunnin animaatio sisältää tässä tapauksessa siis 24 erikseen ren-
deröityä kuvaa. 3D-animaation saaminen kohtuullisessa ajassa valmiiksi edellyttääkin
3D-mallin yksityiskohtien rankkaa karsimista ja valaistusominaisuuksien yksinkertaista-
mista tai saatavilla olevan laskentatehon moninkertaistamista. Laskentatehon kasvatta-
minen edellyttää joko tehokkaamman laitteiston käyttöä tai usean tietokoneen käyttöä
renderöintiin. Useaa tietokonetta käytettäessä puhutaan renderöintifarmeista ja interne-
tin välityksellä tapahtuvasta renderöinnistä verkkorenderöintinä. Renderöintifarmeja
hyödynnetäänkin yleensä suurissa projekteissa, jolloin budjetti sallii verkkorenderöinnin
käytön.

Kolmantena vaihtoehtona on kohteen esittely renderöimällä se reaaliajassa. Nykyaikai-
set pelimoottorit ja tekniikan kehitys ovat mahdollistaneet sen, että 3D-pelimoottoreilla,
kuten Epic Gamesin Unreal Enginellä, Unity Technologiesin Unityllä ja Crytekin Cry En-
ginellä, voidaan näyttää reaaliajassa suhteellisen monimutkaisia valaistusolosuhteita,
erikoistehosteita ja 3D-malleja.



Kuva 2. Cryenginellä reaaliajassa renderöity talo [6].

Vaikka pelimoottoreilla ei päästä lähellekään valmiiksi renderöityjen stillkuvien ja ani-
maatioiden mahdollistamaa fotorealismia, niillä on omat etunsa. 3D-pelimoottorin avulla

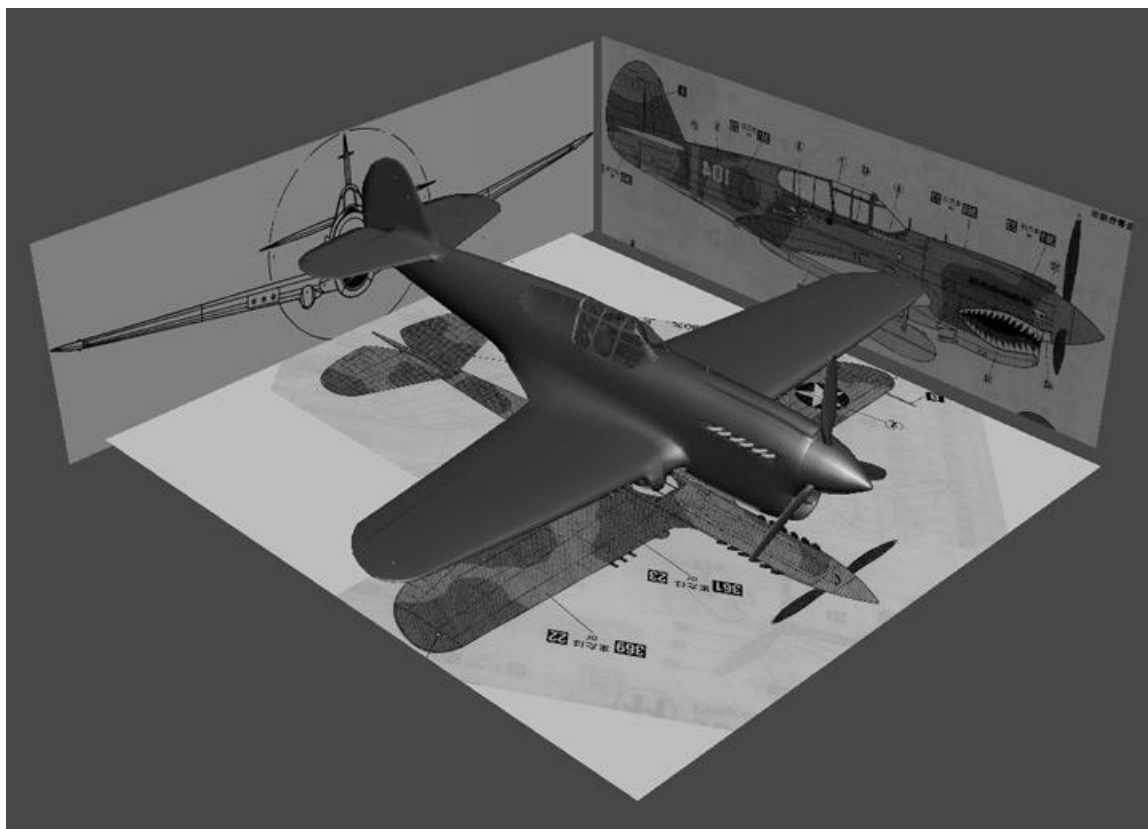
voidaan esimerkiksi luoda interaktiivisia ympäristöjä, joissa asiakas pääsee itse liikkumaan ja muokkaamaan ympäristöä. Tämä tekee kokemuksesta huomattavasti havainnollisemman verrattuna yhdestä perspektiivistä renderöityyn stillkuvaan tai valmiiksi määriteltä polkua seuraavaan kameraan (animaatio). Tämän lisäksi pelimoottoreilla luoduista ympäristöistä voidaan tehdä dynaamisia: asiakas voi halutessaan vaihtaa ennalta määriteltäjä ominaisuuksia, kuten vaikkapa lattian materiaalia, seinän väriä tai sää- ja valaistusolosuhteita, reaaliajassa. [4.]

Pelimoottoreiden käyttö visualisointitarkoituksessa todennäköisesti lisääntyy tietotekniikan ja kehitystyökalujen kehittyessä. Crytek ja Epic Games ovatkin helpottaneet viime aikoina 3D-moottoriensa saatavuutta tarjoamalla edullisia lisensointimahdollisuuksia myös kotikäyttäjille. Erityisesti Unreal Enginen käyttöönotto on kokenut suuren harppauksen uuden kehitysversion myötä, jossa moottorin käyttöliittymästä on pyritty tekemään huomattavasti yksinkertaisempi ja helppokäyttöisempi. Unreal Enginen käyttö hyvin todennäköisesti kasvaa näiden parannusten myötä. [4; 5.]

3.2 Referenssimateriaali

Referenssi- eli viitemateriaali tarkoittaa materiaalia, jota käytetään apuna 3D-grafiikan tuottamisessa. Lähes kaikki 3D-grafiikka tuotetaan jonkinlaisen viitemateriaalin pohjalta. Tärkeimpänä viitemateriaalina voidaan pitää kuvia niiden sisältämän suuren tietomäärän takia. 3D-malleja voidaan luoda suoraan viitekuvista tai niitä apuna käyttäen. Monipuoliset viitekuvat helpottavat suuresti mallinnusprosessia, ja viitekuvia on harvoin liikaa. Viitekuvien laatu ja monipuolisuus ratkaisevat niiden käyttökelpoisuuden. Hyvästä viitekuvasta käyvät ilmi kohteen ulkomuoto, mahdollinen väri ja riittävät yksityiskohdat. Lisäksi se on riittävän tarkka. Viitekuviissa voi esiintyä koko mallinnettava kohde tai vain yksittäinen osa. Erityisesti fiktiivisen 3D-grafiikan luominen perustuu usein usean viitekuvan tai kuvan osan yhdistelemiseen. [7.]

Viitekuvissa tulisi myös olla oikeanlaiset mittasuhteet ja perspektiivi, etenkin jos mallinnus tapahtuu suoraan niiden pohjalta kuten kuvassa 3.



Kuva 3. Laatikkomuodostelmaan asetettujen viitekuvien pohjalta mallinnettu lentokone [8].

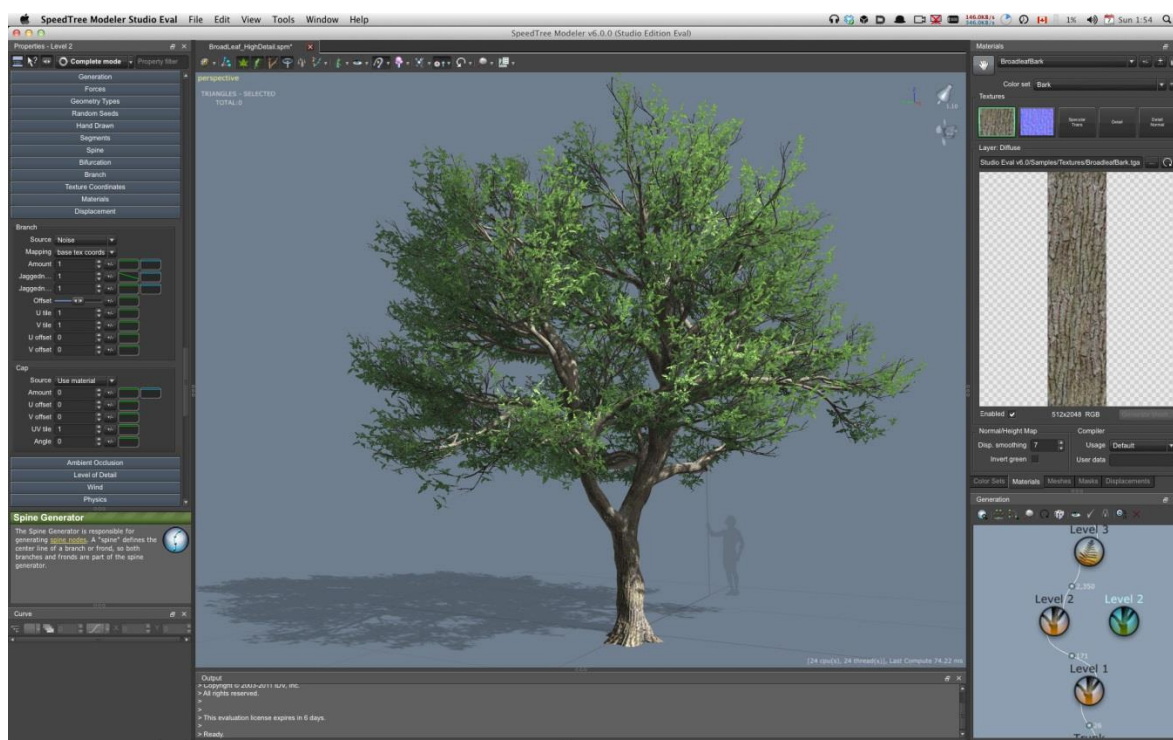
Vaikka kohdetta ei mallinnettaisikaan suoraan referenssin pohjalta, antavat referenssikuvat yleensä hyvän yleiskuvan siitä, miltä lopputuloksen pitäisi näyttää. Mallinnusprosessia aloitettaessa on siis syytä kerätä mahdollisimman paljon kohteeseen liittyviä viitekuvia ja muuta aineistoa. Laaja viitemateriaali helpottaa ymmärtämään mallinnettavan kohteen ja sen osien toiminta- tai liikkumistapaa ja helpottaa näin uskottavan 3D-mallin luomista. [7.]

3.3 3D-grafiikan luominen

3D-mallinnus on prosessi, jossa tuotetaan kolmiulotteinen malli halutusta kappaleesta tai pinnasta muokkaamalla simuloituja kolmiulotteisessa avaruudessa esitettäviä pintoja, pisteitä ja reunoja. 3D-mallintaja tulkitsee keräämäänsä tai vastaanottamaansa aineistoa ja pyrkii luomaan halutusta kohteesta virtuaalisen kopion. Mallintaja työskentelee useimmiten referenssin tai mielikuvan pohjalta. 3D-mallinnusta ei kuitenkaan aina kannata tai

voi tehdä käsin. Joskus mallinnettava kohde on saatava näyttämään mahdollisimman todenmukaiselta, ja käsin tehtynä se voi näyttää liikaa ihmisen tekemältä. Kohteeseen saadaan halutun mukaista satunnaisuutta, kun käytetään proseduraalista eli sääntöpohjaista mallinnusta. Sääntöpohjainen mallinnus tehdään käsinkirjoitettujen skriptien, niitä sisältävien liitännäisten tai valmiiden ohjelmien avulla. [9.]

Käsin mallintamisen sijaan malleja voidaan luoda proseduraalisesti erilaisten algoritmien perusteella. Proseduraalinen mallinnus perustuu algoritmeihin syötettäviin arvoihin, joilla muokataan haluttua kohdetta. Proseduraalista mallinnusta voidaan hyödyntää esimerkiksi orgaanisissa kohteissa, joihin tarvitaan paljon vaihtelua ja joiden käsin tekeminen olisi työlästä tai mahdotonta. Proseduraalisuutta hyödyntävät muun muassa 3D-visualisointiohjelmat, kuten SpeedTree (kuvassa 4), jonka avulla luodaan yksilöllisiä puita ja kasvilisuutta arpomalla oksien ja rungon tiheyden, kulman, käyryyden ja monien muiden lukuisten muuttujien arvoja. [9.]



Kuva 4. Speedtree-ohjelmalla luotu yksityiskohtainen puu [10].

Proseduraalisella mallintamisella voidaan myös luoda kokonaisia maastoja. Ympäristöjen mallintamiseen erikoistuneilla mallinnusohjelmistoilla, kuten Vuella ja Terragenilla, voidaan luoda kokonaisia ympäristöjä muokkaamalla ympäristögenerointialgoritmeille

syötettyjä arvoja, kuten kasvillisuuden tiheyttä, maaston tyyppiä ja veden korkeutta. Organisten mallien lisäksi monimutkaisilla algoritmeilla voidaan helposti luoda toistuvia kuvioita koneellisissa, osissa kuten moottoreissa. Äärimmilleen vietyä tämä voi tarkoittaa kokonaisten kaupunkien luomista erilaisten muuttujien arvoihin pohjautuen. Esimerkkinä tästä on kokonaisten kaupunkien luomiseen erikoistunut ohjelma CityScape. Proseduraalinen mallinnus edellyttää kuitenkin vahvoja ohjelmointitaitoja, valmiiden skriptien käyttöä tai (usein kalliiden) ohjelmistojen hankkimista. [9.]

Vaihtoehtona proseduraaliselle mallintamiselle on kuvapohjainen mallintaminen. Kuviin pohjautuvalla mallinnuksella voidaan tarkoittaa kahta asiaa. Kuvat voivat toimia suoraan 3D-mallin lähteenä tai viitteenä, jonka pohjalta mallit luodaan käsin. Malleja voidaan siis luoda suoraan kuvista (algoritmien avulla tai) käsin erottamalla sekä mallintamalla ja teksturoimalla kuvan toimiessa pelkkänä viitemateriaalina. Suoraan kuvien päälle mallintamalla saadaan tuotettua nopeasti ja edullisesti paljon sisältöä. Laadullisesti nämä mallit eivät kuitenkaan pärjää käsin mallinnetulle ja teksturoidulle versiolle. [11.]

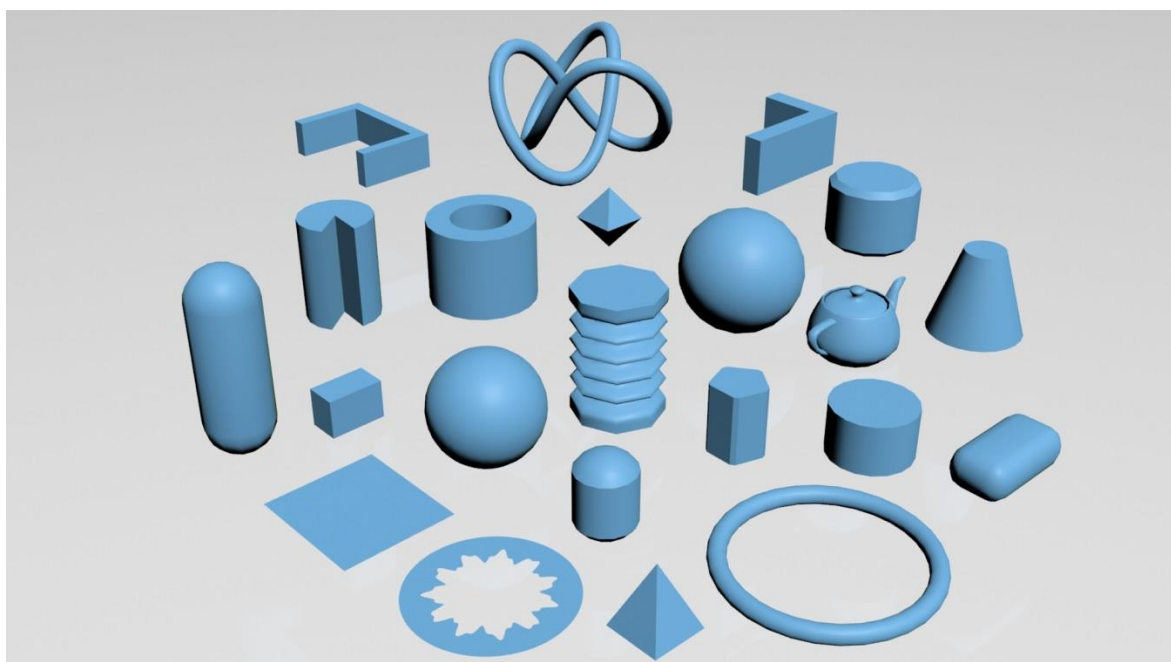
Joskus ympäristöt ovat kooltaan tai laajuudeltaan niin suuria, että niiden mallintamiseen kuluisi huomattavasti aikaa. Vastaavasti valokuvien tai videoiden avulla saatu tieto kohteesta ei aina riitä, etenkin jos reaali maailman kohdetta halutaan jäljitellä tarkasti. Tällöin mallinnusprosessissa ei ole juurikaan tulkinnanvaraa ja mallinnus hoidetaan teknisiä apuvälineitä kuten laserkeilaa käyttäen. Laserkeilaa käytettäessä puhutaan laserkeilauksesta, joka tarkoittaa kappaleiden 3D-skannausta laserin avulla. Laserkeilaus on mitaustapa, jolla saadaan tarkkaa tietoa ympäröivästä kohteesta koskematta siihen. Mittaus tuottaa kolmiulotteisen pistepilven, jonka jokainen piste edustaa lasersäteen kimpoamis pistettä. Lukuisat pisteet muodostavat kohteesta tarkan 3D-mallin. Laserkeilaimen tuottamassa materiaalissa on kuitenkin lähes poikkeuksetta virhepisteitä ja aukkoja, jotka täytyy korjata käsin. Laserkeilausta hyödynnetään muun muassa maastojen kartoituksessa, rakennusmittauksissa, arkeologiassa, peliteollisuudessa ja monella muulla osa-alueella. [12.]

Käsin mallinnettaessa tarjolla on useita tekniikoita, joista käytetyimmät ovat laatikkomallinnus (box modeling), jakomallinnus (subdivision modeling), käyrämallinnus (spline modeling) ja digitaalinen veistäminen. 3D-mallin voi luoda monella tapaa, ja paras tapa on

yleensä yhdistellä eri tekniikoita halutun lopputuloksen aikaansaamiseksi. Ennen syvempää mallinnustekniikoihin perehtymistä on kuitenkin hyvä tietää vähän erilaisista 3D-kappaleista ja niiden koostumuksesta. [13.]

Primitiivit

Käytetyimpiä kappaleita ovat erilaiset monikulmiot, tasot, ympyrät ja pallot. Usein tarjolla on myös valmiita monimutkaisempia muotoja, kuten kapseleita ja prismoja. Kaikki 3ds Maxin peruskappaleet (standard) ja laajennetut kappaleet (extended) on esitetty kuvassa 5.



Kuva 5. 3ds Maxin primitiivit eli perus- ja erikoiskappaleet.

Tavallisten geometrinen ja laajennettujen kappaleiden lisäksi Maxissa on rakennusten visualisoinnissa hyödynnettäviä monimutkaisempia, objekteja kuten aita, ikkunoita, ovia ja portaita, joille on asetettu ennakkoon määriteltäviä asetuksia, joiden perusteella niitä voi muokata. Kappaleiden luomisen jälkeen niiden ominaisuuksia voi muokata tarvittaessa uudelleen modify-välilehdeltä. Jokaisen kappaleen pituutta, leveyttä tai ympärysmittaa voi muokata. Lisäksi kappaleesta riippuen on myös mahdollista säätää kappaleessa olevien reunojen lukumäärä. Pyöreitä reunoja sisältävän kappaleen reunojen lukumäärää kasvattamalla kappale saadaan näyttämään sileämmältä. Kappaleiden luomisen jälkeen niille voi tehdä seuraavia perustoimintoja: niitä voidaan skaalata, siirtää,

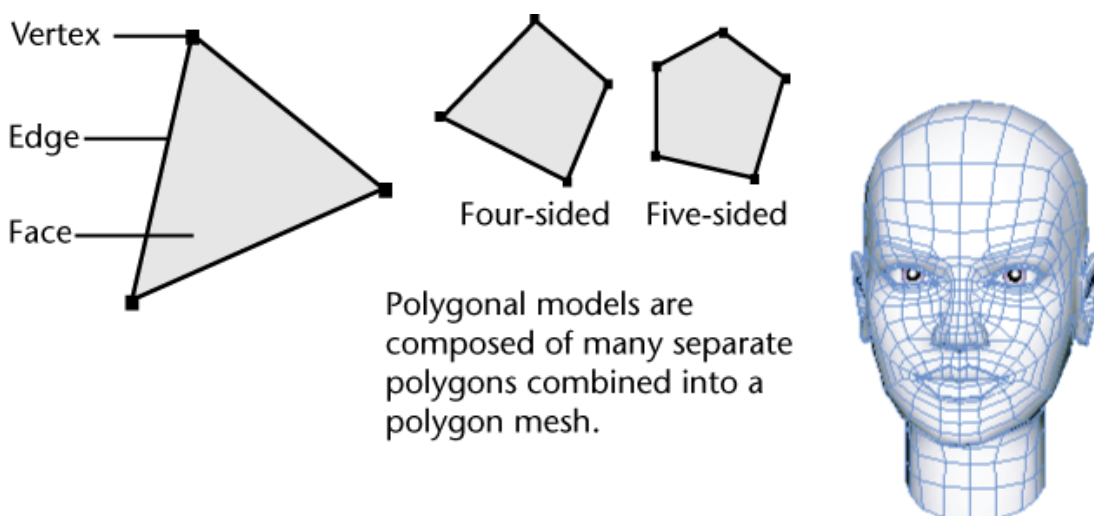
kääntää, peilata, kopioida ja poistaa. Skaalaustyökalua käytettäessä tulee kuitenkin muistaa, että sitä käytettäessä kappaleen mitat eivät muutu vaikka koko muuttuu. [14.]

Kappaleita voi muokata myös erilaisilla muuntimilla (modifiers). Muuntimilla objektia voidaan esimerkiksi kiertää, venyttää tai vaikkapa taivuttaa. Muuntimia käytettäessä mallintajan ei tarvitse käsin muokata kappaletta, vaan ainoastaan muuttujalle ennalta määritellyjä ominaisuuksia. Muuntimille asetettuja ominaisuuksia voi myös animoida. Useita muuntimia voidaan myös käyttää samanaikaisesti, ja siksi ne ovat hyödyllisiä 3D-animaatiota tehtäessä. [15.]

3.4 3D-kappaleen koostumus

Suurin osa 3D-kappaleista koostuu polygoneista, jotka koostuvat puolestaan pienemmistä osista. Jokainen polygoni koostuu 3D-avaruuden eri reunapisteistä eli verkseistä. Kahden reunapisteen välillä kulkevaa janaa nimitetään reunaksi (edge). Kolmen tai useamman reunan rajaamaa tasoa (face) puolestaan kutsutaan polygoniksi. Polygonit ovat yksipuolisia. Polygoni voi olla kolmio tai nelikulmio, tai sillä voi olla useampi sivu. Muut kuin nelikulmaiset polygonit tosin yleisesti aiheuttavat ongelmia esimerkiksi valaistuksen tai subdivision-mallinnuksen ja animaation kanssa. [15.]

3D-kappaleet eli meshit koostuvat vierekkäin asetelluista polygoneista. Vierekkäin aseteltujen polygonien reunat muodostavat 3D-mallin päällä kulkevan verkon eli meshin,



Kuva 6. Polygoni ja sen rakenneosat [16].

joka näkyy kuvassa 6. Reunat määrittelevät kappaleen ulkomuodon, mutta myös mesh-verkon pitäisi olla sopusuhtainen suhteessa 3D-mallin ulkomuotoon, jotta lopputulos näyttäisi oikeanlaiselta. Reunojen asettelua mesh-verkossa kutsutaan virtaukseksi (edge flow). [15.]

3D-kappaleen kiertävää yhtäjaksoista reunaa kutsutaan reunasilmukaksi (edge loop). Hyvin mallinnetut reunasilmukat mukailevat yleensä reaali maailman kohteen anatomiaa tai rakennetta. Reunasilmukoita on havaittavissa esimerkiksi kuvan 6 pään 3D-mallin suun ja silmien ympärillä. Reunasilmukoiden oikeanlainen asettelu (edge flow) on erityisen tärkeää, jos 3D-mallia aiotaan käyttää animaatioissa. [15.]

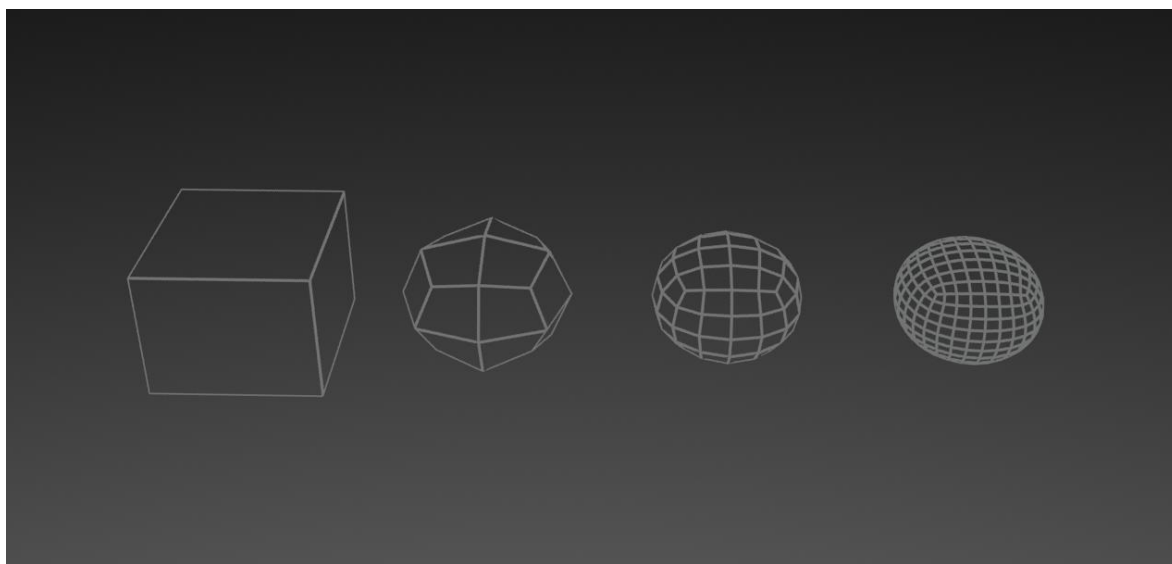
Reunasilmukoiden oikeanlaisen virtauksen lisäksi on tärkeää, että 3D-mallin topologia on kunnossa. Topologialla tarkoitetaan 3D-mallin polygonien suhteita toisiinsa. Topologian täytyy olla kunnossa etenkin, jos mallia muotoillaan muuntimien avulla tai pehmenetään TurboSmooth-muuntimella. Paras mahdollinen topologia saavutetaan käyttämällä pelkkiä nelikulmaisia polygoneita. Tämäkään ei välttämättä riitä, sillä pitkulaisten sillä ja todella teräviä kulmia sisältävien polygonien jako pienempiin osiin voi aiheuttaa valaistusvirheitä, koska polygonia ei pystytä jakamaan riittävän sopusuhtaisiin osiin. Monikulmaisten polygonien eli ngonien käyttö puolestaan aiheuttaa ongelmia aina silloin, kun polygoneja pitäisi jakaa pienempiin osiin tai muuttaa kolmioiksi. Ongelmat näkyvät renderöintivaiheessa esimerkiksi valaistusvirheenä tai vääristyneenä tekstuurina. [15.]

3.5 3D-mallinnustekniikat

Yksi 3D-mallintamisen suurimmista haasteista on pyrkiä mahdollisimman realistiseen lopputulokseen mahdollisimman pienellä polygonimäärällä, sillä jokainen käytetty polygoni kasvattaa renderöintiäikää. Polygonimäärään on kiinnitettävä erityistä huomiota reaaliajassa lasketussa grafiikassa, jota käytetään esimerkiksi simulaatioissa ja videopeleissä. Tästä syystä on tärkeää tietää, mitkä yksityiskohdat ovat 3D-mallissa oleellisia. [15.]

Subdivision-mallinnus

Subdivision-mallinnus on mallinnustekniikka, jossa 3D-kappaleen polygonit jaetaan pienempiin osiin ja näistä osista muokataan haluttu lopputulos. 3ds Maxissa subdivision-mallinnus tehdään MeshSmooth- tai TurboSmooth-muuttujien avulla, TurboSmoothin toimintaperiaatetta on havainnollistettu kuvassa 7.



Kuva 7. Polygonimäärän eksponentiaalinen kasvu TurboSmooth-muunninta käytettäessä. TurboSmooth asteikolla vasemmalta lähtien 0–3.

Subdivision-tason nostaminen pyöristää 3D-kappaletta ja tekee siitä sileämmän. Kulmista tai reunoista saadaan teräviä lisäämällä kappaleen meshiin reunasilmukoita (edge loops). Subdivision-mallinnuksessa voidaan myös hyödyntää FFD- eli Free Form Deformation -muuntimilla. FFD-muuntimia eli vapaan muodon muuntamiseen tarkoitettuilla muuntimilla voidaan hallita useaa pistettä kerralla. FFD-muunnin muodostaa halutun kokosen hallintaverkon 3D-mallin ympärille. Verkolle määritetään muokkauspisteiden lukumäärä syvyys-, pituus- ja leveys suunnassa. Muokkaamalla yhtä muokkauspistettä muunnin suorittaa suhteelliset muutokset määritettyjen muokkauspisteiden välillä. [13.]

Laatikkomallinnus

Laatikkomallinnus (Box modeling) tehdään primitiivien polygoneja muokkaamalla, lisäämällä tai poistamalla. Aliosien muokkaamista varten primitiivit täytyy muuntaa polygonien muokkaustilaan (Editable Poly). Kappaleista voi tehdä muokattavia myös Edit Poly -muuntimella, joka eroaa Editable Poly -tilasta, koska se on muunnin eli sillä voidaan tehdä väliaikaisia muutoksia, se voidaan poistaa tai kytkeä pois päältä. Edit Poly -muunnin on kätevä työkalu väliaikaisten muutosten tai kokeilujen tekemiseen. Kappaleiden pysyvä muuntaminen muokattavaan tilaan (Editable Poly) hävittää primitiivien alkuperäiset muokattavat ominaisuudet, joten esimerkiksi reunojen lisääminen tai poistaminen täytyy muutoksen jälkeen tehdä käsin. Oikeiden primitiivien valitseminen lähtötilanteessa ja niiden ominaisuuksien muokkaaminen oikeanlaiseksi säästää aikaa mallinnusvaiheessa. [13.]

Käyrämallinnus

Käyrämallinnus on tekniikka, jossa tyypillisesti käytetään apuna erilaisia muuntimia. Käyrämallinnuksella luodaan yleensä pyöreitä muotoja sisältäviä kappaleita tai sylinterimäisiä kappaleita, kuten pulloja, putkia, kaapeleita, tölkkejä tai lautasia. Käyrämallinnuksessa luodaan yleensä ääriiviiva kohteesta, minkä jälkeen viivasta luodaan 3D-kappale tai pinta venyttämällä sitä ääriviivasta kohtisuoraan pursotus-muuntimen (Extrude) avulla. Toinen tapa on ensin luoda kappaleen läpileikkauksen puolikkaasta ääriviivat ja muodostaa siitä haluttu kohde. Ääriviivoista muodostetaan 3D-kappale muuntamalla se pyörähdyskappaleeksi sorvi-muuntimen (Lathe) avulla. Sorvi-muuntimen avulla on helppo tehdä pyöreitä kappaleita, kuten astioita, pulloja tai pylväitä. [13.]

Käyrämallinnuksen avulla voidaan myös helposti tehdä yhtenäisesti jatkuvia muotoja Loft-muuntimen avulla. Loft-muunnin tarvitsee toimiakseen vähintään kaksi muotoa, yhden käyrän, jota pitkin valittua kuviota toistetaan, ja yhden tai useamman toistettavan kuvion muodon. Loft-muuntimella saadaan helposti aikaiseksi esimerkiksi halutun muotoisia putkia, uria tai vaikkapa teitä. [13.]

Veistäminen

Digitaalinen veistäminen eroaa edellä mainituista mallinnustekniikoista kaikista eniten, ja se sujuu yleensä parhaiten siihen erikoistuneella ohjelmalla, vaikka useassa 3D-sovelluspaketissa veistotyökalut ovatkin mukana. Veistäminen on myös kaikista uusien mallinnustekniikka. Veistämiseen käytetään yleensä siihen erikoistuneita ohjelmistoja, kuten Zbrushia tai Mudboxia tai vokseleita hyödyntävää 3D Coattia. Digitaaliseen veistämiseen erikoistuneet ohjelmistot pystyvät käsittelemään suuria määriä polygoneja kerralla verrattuna tavanomaisiin 3D-mallinnusohjelmistoihin, kuten 3ds Maxiin tai Mayaan. [13.]

Veisto-ohjelmistot pystyvät näyttämään reaaliajassa jopa useita miljoonia polygoneja, jotka ovat kaiken lisäksi muokattavissa reaaliajassa ilman ohjelmiston hidastumista. 3D-veisto-ohjelmilla tehtävä mallinnus poikkeaa suuresti perinteisten 3D-ohjelmistojen polygoneihin ja käyriin perustuvasta mallintamisesta ja muistuttaa perinteistä kuvanveistoa. Suuren polygonimäärän ansiosta mallinnus tehdään digitaalista savea muokkaamalla erilaisten siveltimien (brush) avulla. Suuren polygonimäärän ja kuvanveistoa muistuttavan mallinnustavan ansiosta veisto-ohjelmilla voidaan luoda hyvin yksityiskohtaisia ja realistisen näköisiä objekteja, joista esimerkkinä kuvan 8 reppu. [13.]



Kuva 8. Zbrush-ohjelmalla "veistetty" yksityiskohtainen reppu The Last of Us -videopelistä [17].

Erityisen hyvin veisto-ohjelmat soveltuvat orgaanisen sisällön, kuten ihmisten, eläinten ja muiden olioiden, mallintamiseen. Veisto-ohjelmissa luodut kappaleet ovat kuitenkin

niin yksityiskohtaisia, että niitä ei voida käyttää animaatioissa ja ne soveltuvat yleisesti ainoastaan esittelykäyttöön. Veistettyä mallia voidaan hyödyntää mallintamalla se uudesta pientä polygonimäärää käyttämällä. Korkean polygonimäärän kappaleen muodon uudelleen luomista pienellä polygonimäärällä kutsutaan nimellä "retopologizing". Korkean polygonimäärän mallin yksityiskohdat saadaan siirrettyä matalan polygonimäärän malliin käyttämällä erilaisia tekstuurikarttoja. [15.]

3.6 UV-kartoitus

Ennen 3D-kappaleen pinnoittamista eli teksturointia on tärkeää määritellä, miten haluttu kuva tai kuvio heijastetaan 3D-kappaleen päälle. Ilman UV-kartoitusta kappaleen pinnalle heijastettu kuva tai kuvio näyttää vääristyneeltä tai venytetyltä, ellei kyseessä ole proseduraalinen tekstuuri (kuvio, joka toistuu matemaattisen kaavan mukaan loputtomasti). UV-kartoituksen tavoitteena on saada kaikki kappaleen polygonit mahtumaan rajoitetun kokoisien kaksikulmisten nelikulmion sisään. Polygonien koko nelikulmion sisällä on suoraan verrannollinen niiden tekstuuriresoluutioon. Suurempi koko nelikulmion sisällä tarkoittaa siis tarkempaa tekstuuria. UV-karttoja luodaan Unwrap UVW -muuntimen avulla, ja UV-kartoitusprosessia kutsutaan usein "unwräppäämiseksi" (unwrapping). [15.]

UV-kartoitus perustuu erilaisiin heijastustapoihin, joita ovat taso-, laatikko-, sylinteri- ja palloheijastus. Näillä heijastustavoilla ei kuitenkaan voida kattaa monimutkaisempia muotoja, kuten vaikkapa hahmoja tai ajoneuvoja. Monimutkaisempien kappaleiden UV-kartoitus tehdään erillisellä UV-editorilla. Useimpiin 3D-sovelluksiin, kuten 3ds Maxiin, on sisäänrakennettu oma UVW-editori. Markkinoilla on tarjolla myös kolmansien osapuolien tarjoamia liitännäisiä, jotka lisäävät ominaisuuksia sisäänrakennettuun editoriin sekä kokonaisia sovelluksia, joiden tarkoitus on nopeuttaa työskentelyä. TexTools on 3ds Maxin ilmainen liitännäinen, joka lisää joukon hyödyllisiä työkaluja UV-editoriin. Toinen kokeilemisen arvoinen UV-työkalu on Roadkill. Se on yksinkertainen, nopea ja helpokäyttöinen ja tarjoaa hyvän vaihtoehdon 3ds Maxin sisään rakennetulle UV-editorille. [15.]

3.7 Varjostimet

UVW-kartoituksen jälkeen kappale voidaan pinnoittaa eli sille voidaan asettaa varjostin (shader). Varjostimet määrittävät kappaleen ulkonäön ja kertovat 3D-sovellukselle, miten kappale tulisi renderöidä. Varjostimesta käytetään usein myös nimitystä materiaali. Toinen yleisesti käytetty termi on tekstuuri. Tekstuuri on kuitenkin vain kuvatiedosto, joka voidaan liittää varjostimen eri kanaviin. Varjostimen diffuse- eli värikanavaan liitetynä tekstuuri antaa varjostimelle kuvan väritiedot. Varjostimilla voidaan muokata kappaleen pinnan ominaisuuksia käyttämällä erilaisia tekstuurikarttoja. Varjostimen eri kanaviin liitettyillä tekstuurikartoilla hallitaan kappaleen läpinäkyvyyttä, heijastavuutta, valon taitekerrointa, läpikuultavuutta, hehkua, peilimäisiä yksityiskohtia ja kiiltävyyttä ja muita mahdollisia ominaisuuksia. [18.]

Tekstuurikarttoja voidaan luoda proseduraalisesti ja käsin bittikarttakuvina tai vektorikuvina. Proseduraalisesti tekstuurikartat eivät ole riippuvaisia resoluutiosta, niillä ei ole saumojia ja ne heijastuvat oikein ilman UVW-karttoja. Proseduraalisten tekstuurien asettelu voi kuitenkin olla hankalaa, koska niissä toistuvien kuvioiden paikkaa on lähes mahdotonta hallita. Yleisimmin käytetyt tekstuurit ovatkin bittikarttakuvia niiden helpon muokattavuuden ansiosta. [18.]

Bittikarttakuvien ongelmana on niiden resoluutio. Läheltä katsottuna bittikarttakuvat vääristyvät ja niissä olevat yksityiskohdat sumenevat. Bittikarttoihin perustuvia tekstuurikarttoja luotaessa on tärkeää tietää niiden käyttökohde, jotta ne voidaan luoda tarpeeksi suurella tai pienellä resoluutiolla. Käytetyimmät tekstuurikartat ovat sävy- (diffuse map), kohouma- (bump map), heijastus- (specular map) ja läpinäkyvyyskartat (opacity map) sekä normaalikartat (normal map). [18.]

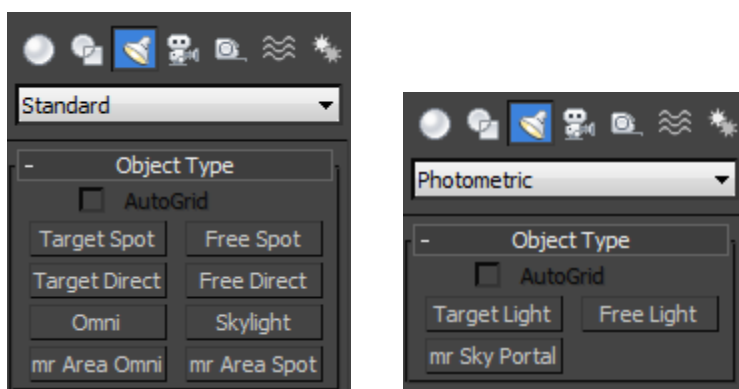
Sävykartta määrittelee kappaleen värin, niitä luodaan useimmiten kuvankäsittelyohjelmilla ja ne voivat olla käsin maalattuja tai piirrettyjä, koostua valokuvista tai molempien tekniikoiden yhdistelmästä. Värikartat ovat täysin litteitä, joten niillä ei voida esittää pinnan muotojen vaihtelua. Tätä varten on kehitetty kohoumakartat (bump map) ja normaalikartat. Kohoumakartat ovat harmaasävykuvia, jotka lisäävät kohteeseen varjoja ja valoa ja mukailevat oikean pinnan koostumusta. Kohoumakartat eivät muuta kappaleen pintaa vaan pelkästään valaistusominaisuuksia. [18.]

Kohoumakarttojen lisäksi yleisiä ovat peilauskartat, jotka määrittelevät, miten kappaleen pinta peilaa valoa, ja läpinäkyvyyskartat, joilla määritellään kohteen läpinäkyvyys. Läpinäkyvyyskartat ovat hyviä esimerkiksi likaisen tai värjätyin lasin luomiseen. Heijastuskartoilla puolestaan määritellään, miten kohde heijastaa valoa. Heijastuskartoilla voidaan myös luoda kohteeseen heijastuksia, joita ei oikeasti ole olemassa. [18.]

Tekstuurikartoilla voidaan myös muuttaa alkuperäistä muotoa. Muuttokartat muuttavat kohteen alkuperäistä muotoa lisäämällä siihen uusia muotoja. Muuttokartoilla voidaan esimerkiksi helposti mallintaa litteästä tasosta epätasaista maastoa. Muuttokarttoja käytettäessä täytyy muistaa, että niiden lisäämät muodot kasvattavat polygonimäärää. Pinnan muotoja ja yksityiskohtia voidaan myös lisätä kasvattamatta polygonimäärää käyttämällä normaalikarttoja. Normaalikarttojen toiminta muistuttaa kohoumakarttoja, mutta harmaasävyjen sijaan ne koostuvat punaisesta, vihreästä ja sinisestä väristä. Näin ollen normaalikartoilla pystytään esittämään paremmin pinnan yksityiskohtia kuin harmaasävyisillä kohoumakartoilla. Normaalikarttojen avulla korkean polygonimäärän kappaleen pinnan yksityiskohdat saadaan toistettua matalan polygonimäärän malleissa. Tätä tekniikkaa hyödynnetään paljon etenkin reaaliajassa esitettävässä 3D-grafiikassa. [18.]

3.8 Valaisu

Valot ja varjot yhdessä luovat syvyysvaikutelman ja määrittelevät, mitä näemme. Erilaiset valonlähteet ja eriväriset valaistusolosuhteet luovat 3D-tilaan omanlaisensa tunnelman, ja siksi valaisu on olennainen osa 3D-grafiikan luomista. Oikeanlaisen valaistuksen luominen edellyttää tietämystä väriteoriasta ja värilämpötilojen vaikutuksesta. Valaistus vaikuttaa pitkälti myös renderöintiin kuluvaan aikaan. Realistisen lopputuloksen saavuttamiseksi on tärkeää tuntea erilaiset valotyypit, niiden toimintaperiaate ja niiden käyttötarkoitus. [18.] Kuvassa 9 on esitelty 3ds Maxin sisältämät valotyypit.



Kuva 9. 3ds Maxin tavalliset ja fotometriset valot.

Useimmat 3D-ohjelmistot tarjoavat laajat työkalut valojen luomiseen. Valoja luotaessa voidaan valita yleisesti ainakin valon intensiteetti, väri ja valon kantavuus. Intensiteetti tarkoittaa valon voimakkuutta ja värillä säädellään valon sävyä. Kantavuutta muokkaamalla voidaan luoda hyvin erityyppisiä ja realistisia tai epärealistisia valoja. Valoja luotaessa voidaan myös tarvittaessa määrittellä, minkä tyyppisiä varjoja valot langettavat. Tarkkojen ja erityisesti pehmeiden varjojen käyttö kasvattaa renderöintiäikää huomattavasti. Valojen kantavuutta ja varjotyyppiä muokkaamalla voidaan helposti luoda myös valaistusolosuhteita, joita olisi oikeasti mahdoton saavuttaa, esimerkiksi valokeiloja, joiden valonsäde katkeaa useassa kohdassa ennen sen loppumista. [19.]

Niin kauan kuin 3ds Maxin tila-avaruuteen ei ole luotu valoja, valaistus lasketaan valmiiksi määriteltyjen oletusvalojen mukaan. Ensimmäisen valon luomisen jälkeen ohjelma poistaa oletusvalot automaattisesti, kaikkien valojen poistaminen puolestaan vastavuoroisesti palauttaa oletusvalot. 3ds Max tarjoaa käyttöön kahdenlaisia valoja: perusvaloja, jotka simuloivat reaalimaailman valoja, ja fyysisesti tarkempia fotometrisiä valoja, joille voidaan erikseen määrittää niiden tuottama valoenergia. Esimerkkinä fotometrisistä valoista ovat sivulla 21 esitettävät IES-valot. Valaistus voidaan tehdä myös HDR-kuva kuvan pohjalta. Tätä tekniikkaa kutsutaan kuvapohjaiseksi valaisuksi (Image Based Lighting, IBL). [19.]

Spotti- eli suora kohdevalo on yksi käytetyimmistä valotyypeistä. Spottivalo heijastaa valoa yhdestä pisteestä, yhteen suuntaan. Koska valonsäteet heijastuvat yhteen suuntaan kartion muodossa, spottivalon kohde on todella kirkas ja se muodostaa pitkiä varjoja. Spottivalon kulmaa ja valon intensiteettiä muokkaamalla voidaan luoda hyvin erityyppisiä

valaistusolosuhteita. Spottivalon langettaman ympyrän pehmeyttä voidaan myös muokata. Spottivaloja on kahdenlaisia: tähdätty spottivalo (Target Spot), jolla on kiintopiste, jota se seuraa jatkuvasti, ja vapaa spottivalo (Free Spot), jonka valokeilaa voidaan liikutella vapaasti. [19.]

Suoravalot eli Target Direct ja Free Direct muistuttavat toiminnaltaan spottivaloja, mutta lähettävät valonsäteitä yhden pisteen sijaan vierekkäisistä pisteistä samaan suuntaan. Tämän takia suoravalojen valonsäde muistuttaa suorapohjaista lieriötä eikä kartiota kuten spottivaloilla. [19.]

Ambient-valo eli ympäröivä valo eroaa hiukan muista 3ds Maxin valotyypeistä, sillä se on yleisvalo, joka valaisee koko 3D-skeneä. Ympäröivällä valolla on tasainen intensiteetti. Se myös levittäytyy tasaisesti koko skeneen, koska sillä ei ole suoranaista valonlähdettä tai erillistä suuntaa. Ambient-valoa hallitaan 3ds Maxissa Environment and Effects -valikosta, joka aukeaa pikanäppäimellä 8. Oletusarvoisesti ambient-valo on täysin musta eli se ei ole käytössä. Skenen varjojen tummimmat kohdat värjäytyvät ambient-valon mukaan, ja tästä syystä ambient-valo kannattaa määrittää, vasta kun kaikki muut valot ovat kohdallaan. [19.]

Omni-valot ovat yksi useimmin 3ds Maxissa käytetyistä valotyypeistä. Omni-valo lähettää valonsäteitä tasaisesti ympärilleen joka suuntaan. Omni-valoja voidaan käyttää esimerkiksi piste- tai täytevaloina. Aluevalo (mr Area Omni, mr Area Spot) on yksi monimutkaisimmista ja samalla realistisimmista valonlähteistä. Aluevalo lähettää valonsäteitä ennalta määrittäen suuntaan kohdevalon tapaan. Yhden pisteen sijaan valonsäteet lähtevät ennalta määritellyltä alueelta tai pinnalta, kuten ikkunasta tai monitorin ruudulta. Aluepohjaisen valonlähetyksen ansiosta aluevalot luovat pehmeitä, realistisia varjoja. Pehmeiden varjojen luominen on kuitenkin raskasta, ja se hidastaa renderöintiä paljon, minkä vuoksi aluevaloja kannattaa käyttää harkitusti. [19.]

3ds Maxissa on myös niin sanottuja loputtomia valonlähteitä, jotka lähettävät rinnakkaisia valonsäteitä auringon tapaan. Nämä valojärjestelmät sijaitsevat erillisessä Systems-valikossa, Create-välilehden alla. Ne ovat hyviä auringon tai kuun valon tarkkaan esittämiseen. 3ds Maxissa on auringonvalo- ja päivävalojärjestelmä, jotka simuloivat tarkasti realistisia valaistusolosuhteita. Järjestelmät perustuvat maantieteellisesti tarkkaan auringon sijaintiin ja liikkeeseen. Järjestelmille voidaan määrittää päivämäärä, aika, paikka,

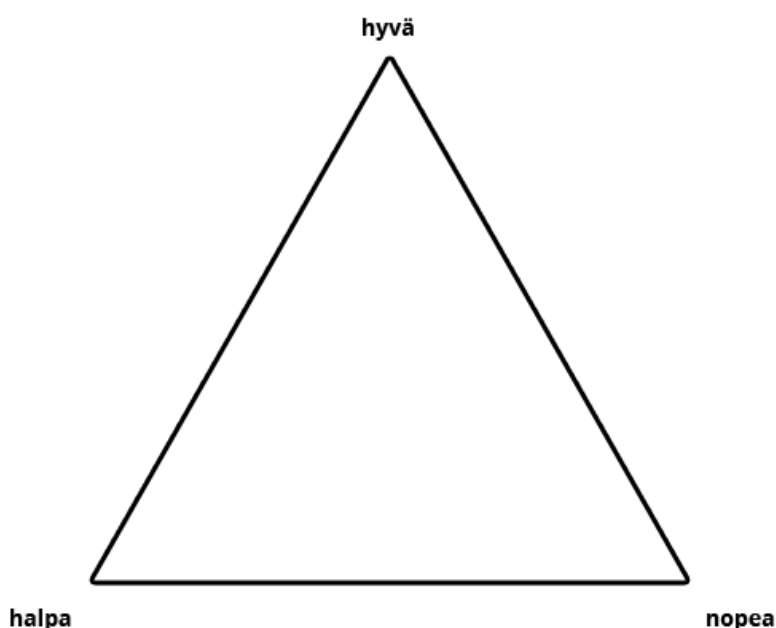
korkeus- ja pituusaste ja ilmansuunta, joiden mukaan valonsäteet lasketaan. Edellä mainittujen muuttujien perusteella auringon liikkeitä voidaan myös animoida, esimerkiksi päivävalaistus voidaan näin muuttaa yövalaistukseksi. [19.]

Päivävalojärjestelmän lisäksi tarjolla on myös muita fyysisesti tarkkoja valonlähteitä. IES eli Illumination Engineering Society on valaistusinsinöörien yhdistys, joka on luonut oman tiedostoformaatin valaistustiedon sähköiseen siirtämiseen. IES-valot voidaan mieltää valaistusprofiileina erilaisille reaali maailmassa esiintyville lampuille. IES-valot sisältävät tarkan tiedon valon intensiteetin jakautumasta. Näitä valoja voidaan hyödyntää 3D-ohjelmistoissa, ja niillä voidaan luoda fyysisesti tarkkoja kopioita oikeista valoista ja niiden muodosta. IES-valoprofiileja luovat suuret valovalmistajat, joiden verkkosivustoilta niitä voi useimmiten ladata ilmaiseksi. IES-valojen tarkastelua varten tarvitaan erillinen katselusovellus, joka näyttää valoprofiilien tuottamat kuvat renderöityinä. IES-valot soveltuvat hyvin esimerkiksi sisätilojen esittelyyn. [19.]

4 3D-animaatio

3D-animaatio on kokonaan oma taiteenlajinsa, jonka käsittely ylittäisi reilusti insinöörityön laajuuden. Tämän työn kannalta ei ole oleellista perehtyä esimerkiksi animaation 12 pääperiaatteeeseen tai muihin tärkeisiin animaatioon liittyviin käsitteisiin, koska työssä ei esiinny liikkuvia hahmoja tai esineitä, vaan työn on tarkoitus olla realistinen ja työssä käytetään vain murto-osaa 3D-animaation tekniikoista, kuten liikkuvia kameroita. Työn kannalta onkin olennaista tutkia yleisiä 3D-animaation tuotantoon ja 3D-kameroihin liittyviä asioita. Jokaisella tuotantoyhtiöllä on vahvasti omanlaisensa tuotantoprosessi, mutta kaikki animaatiotyöt voidaan jakaa kolmeen yleiseen vaiheeseen, jotka ovat esituotanto, tuotanto ja jälkituotanto. Esituotantovaiheessa keksitystä ideasta jalostetaan tarina ja luodaan tuotannossa tarvittavat suunnitelmat. Tuotantovaiheessa luodaan animaation varsinainen sisältö, ja jälkituotantovaiheessa animaatio koostetaan, tehdään pieniä lisäyksiä ja tarvittavia korjauksia. Ajankäyttö eri vaiheissa riippuu projektin koosta, sisällöstä, tavoitteesta, budjetista ja tuotantoryhmän koosta. Projektista riippuen kaikkia vaiheita ei välttämättä edes tarvita tai niiden merkitys on niin vähäinen, että ne voidaan jättää tekemättä. Laatu ja hinta riippuvat myös työn nopeudesta. [1.] Kuvan 10 kolmio selventää projektin kannalta oleellista kompromissia.

Esituotantovaiheessa valitaan ja jalostetaan valittua ideaa, idean pohjalta tehdään tuotantosuunnitelma ja projektia varten tarvittava tutkimus ja etsitään referenssimateriaali. Idean pohjalta laaditaan synopsis, joka on eräänlainen tiivistelmä projektin olennaisimmista asioista. Synopsiksesta käy ilmi, mitä projektissa ollaan tekemässä, miksi projekti tehdään, kenelle se tehdään ja miten se tehdään. Synopsiksen pohjalta laaditaan käsikirjoitus. Käsikirjoituksesta käyvät ilmi tuotannon pääkohdat, kuten tapahtuma-aika ja -paikka, hahmojen liikkeet ja vuorosanat sekä tapahtumajärjestys. [1.]



Kuva 10. Tuotantokolmio: tyypillisessä tuotannossa vain kaksi ominaisuutta voidaan valita.

Käsikirjoituksen perusteella laaditaan useimmiten kuvakäsikirjoitus, jossa tuotanto havainnollistetaan käymällä se läpi nopeasti piirrettyjen luonnoskuvien perusteella. Joskus käsikirjoitus saatetaan jättää tekemättä ja siirrytään suoraan kuvakäsikirjoituksen laatimiseen. Tämä lähestymistapa toimii, jos kuvakäsikirjoituksen avulla saadaan välitettyä tarpeeksi tietoa, esimerkiksi jos animaatio on suhteellisen lyhyt. Kuvakäsikirjoituksen eli story boardin perusteella voidaan laatia karkea raakaversio animaatiosta hyödyntäen kuvakäsikirjoituksen kuvia tai laatimalla nopea niin sanottu "palikkaversio" eli blackout animaatiosta. Palikkamallissa vain tärkeimmistä key frameista eli avainkuvista on laadittu olennaisimmille kohteille karkeat animaatiot. Palikkamallin avulla saatetaan huomata yllättäviäkin asioita, jotka muuten olisivat käyneet ilmi vasta tuotantovaiheessa.

Esituotantovaiheessa huomattavat virheet ovat huomattavasti helpompia, nopeampia ja halvempia korjata tai muokata, kuin vasta tuotantovaiheessa havaitut. Raakaversion ja kuväksikirjotuksen välillä tehdään monia kokeiluja ja laaditaan yleensä viimeinen editointi, josta ei myöhemmin enää poiketa. Tämä johtuu siitä, että jälkituotantovaiheessa editointi on huomattavasti työläämpää. Animaation lopullisen raakaversion jälkeen laaditaan tuotannon kannalta olennaiset suunnitelmat, kuten hahmo- ja ympäristösuunnitelmat. Suunnitteluvaiheessa luodaan projektin lopullinen visuaalinen ilme. [1.]

Tuotantovaiheessa hyödynnetään esituotannossa luotuja suunnitelmia. Jos palikkamallia animaatiosta ei vielä ole luotu, se on yleensä ensimmäinen asia, joka mallinnetaan 3D:nä. Tuotantovaiheessa mallintajat aloittavat työn ennalta laadittujen hahmo-, tavara- ja ympäristösuunnitelmien perusteella. Jo tässä vaiheessa animaation yksityiskohtien ja suunnitelmien muuttaminen teettää turhaa työtä ja viivästyttää projektia. Mallintamisen jälkeen hahmot teksturoidaan, minkä jälkeen ne siirtyvät riggaajan ja animaattorin työstettäväksi. Erillinen riggaaja tai animaattori itse luo hahmoille ja esineille erilaiset hallintapisteet, josta niitä voidaan liikutella. Riggauksen jälkeen tehdään varsinainen animointi, jossa hahmot laitetaan liikkumaan halutulla tavalla. Animointivaiheen jälkeen luodaan mahdolliset erikoistehosteet ja valaistus, minkä jälkeen tuotantovaiheessa on jäljellä enää renderöinti. [1.]

Tuotantovaiheen jälkeen siirrytään jälkituotantovaiheeseen. Jälkituotantovaiheessa voidaan korjata virheitä, joiden korjaaminen edellyttäisi palaamista tuotantovaiheeseen. Jälkituotantovaiheessa 2D-elokuvasta voidaan esimerkiksi muokata 3D-elokuva. Tämä on kuitenkin usein kallista ja aikaa vievää eikä lopputulos välttämättä ole yhtä hyvä, kuin jos elokuva olisi alun perin toteutettu stereoskooppisena 3D:nä. Muita jälkituotannon vaihteita ovat kompositointi (compositing), jossa eri tasoille luodut 3D- ja 2D-kuvat yhdistetään yhdeksi kuvaksi. Kompositoinnin jälkeen voidaan vielä mahdollisesti lisätä 2D-erikoistehosteita ja tehdä tarvittavat värikorjaukset. [1.]

Kamerat

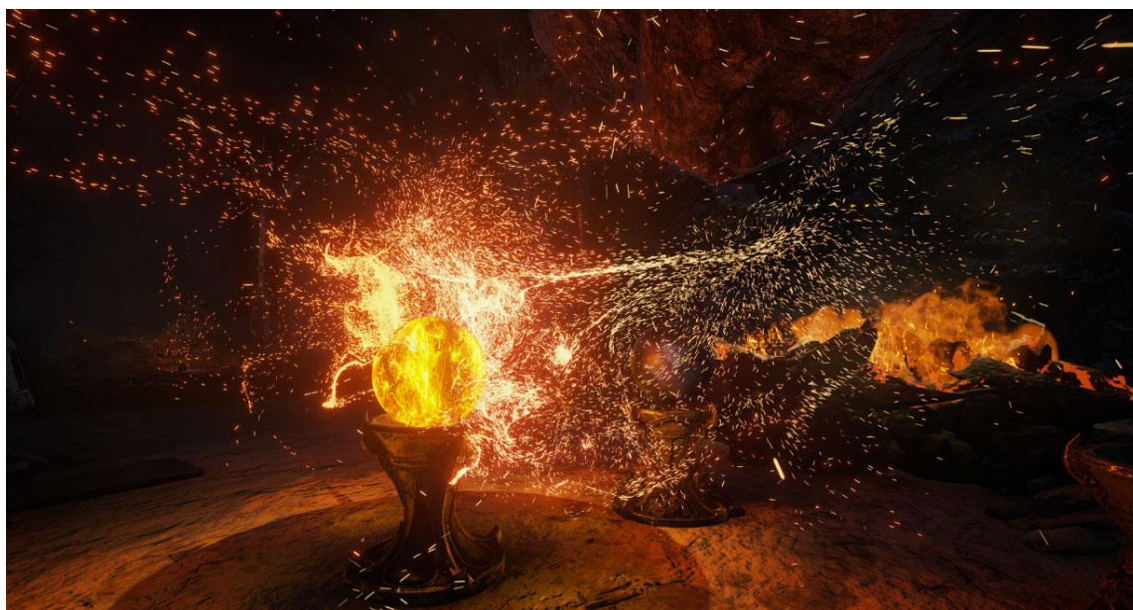
3D-ohjelmistot näyttävät käsiteltävän kolmiulotteisen avaruuden erilaisten ikkunoiden (viewport) läpi. Ikkunat voivat näyttää avaruuden erilaisista näkymistä, kuten perspektiivinäkymästä tai ortografisesta näkymästä. Ikkunat ovat verrattavissa kameroihin, sillä niitä voidaan säätää samalla tavalla. Yleisesti ottaen virtuaalikameroiden polttoväliä,

aukkoa ja suljinaikaa voi muokata kuten fyysisessä kamerassa. 3D-kameran etuna on sen tuottama niin sanottu täydellinen kuva. 3D-ohjelmiston virtuaalikameroiden tuottamasta kuvasta pyritään usein tekemään todenmukaisempi lisäämällä siihen aitojen kameroiden tuottamia virheitä. 3D-kameran kuvasta voidaan säätää esimerkiksi, syväterävyyttä tai siihen voidaan lisätä väriäärityksiä (chromatic aberration). [1; 15.]

3ds Maxissa on tarjolla kahdentyyppisiä kameroita, joiden ominaisuuksia voi muokata. Kohdekameralle (Target Camera) on määritetty tietty kiintopiste, jota se seuraa jatkuvasti. Vapaalla kameralla (Free Camera) ei ole erikseen määritettyä kiintopistettä kuten kohdekameralla. Vaikka kameroita voidaan liikuttaa vapaasti, ei niitä kuitenkaan tarvitse välttämättä siirtää käsin. Kamerat voidaan laittaa seuraamaan esimerkiksi ennalta määritettyä käyrää. 3D-kameroiden etuna on, että niiden kaikkia ominaisuuksia voidaan halluittaessa animoida, esimerkiksi polttoväliä voidaan muuttaa ”lennosta”. [1; 15.]

Partikkelit

Työssä käsiteltiin sivulla 8 proseduraalista eli sääntöpohjaista mallinnusta. Mallintamisen lisäksi myös animaatiota voidaan luoda määrittelemällä sääntöjä erilaisten liikkeiden hallitsemiseksi. Partikkelijärjestelmät ovat hyvä esimerkki siitä, mitä kaikkea sääntöpohjaisella animaatiolla voidaan luoda. Partikkeleja käytetään yleisesti erilaisten efektien, kuten kipinöiden, lumen, tulen (kuva 11) tai savun luomiseen 3D-grafiikassa. [15; 18.]



Kuva 11. Uuden sukupolven pelimoottorit pystyvät renderöimään suuren määrän partikkeleita reaaliajassa. Kuvassa tulipartikkelit Unreal Engine 4:ssä.

Partikkelit koostuvat suurista määrästä ennalta määriteltyjä kaksi- tai kolmiulotteisia kapaleita. Usein yksittäisten partikkelien muotona käytetään sprite-grafiikkaa. Spritet ovat kaksiulotteisia bittikarttakuvia tai animaatiota. Partikkelien avulla voidaan myös luoda uskottavan näköistä karvaa, hiuksia tai ruohoa renderöimällä niille määritelty liikerata. Partikkelijärjestelmät voivat toimia sekä kaksi- että kolmiulotteisissa avaruuksissa. Kolmiulotteisessa avaruudessa partikkelit luodaan tyypillisesti yhdestä pisteestä, jota kutsutaan lähettäjäksi (emitter). Lähettäjälle määritellään partikkelien käyttäytymisparametrit. Partikkelien määritettäviä parametreja eli ominaisuuksia ovat muun muassa niiden elinikä, suunta, nopeus, luontitiheys, määrä ja väri. Jokaisella partikkelilla on määritelty elinkaari, jonka aikana partikkeli syntyy eli luodaan näytölle, käyttäytyy sille määritellyllä tavalla ja sen jälkeen kuolee eli katoaa näkyvistä. [15; 18.]

5 Renderöinti

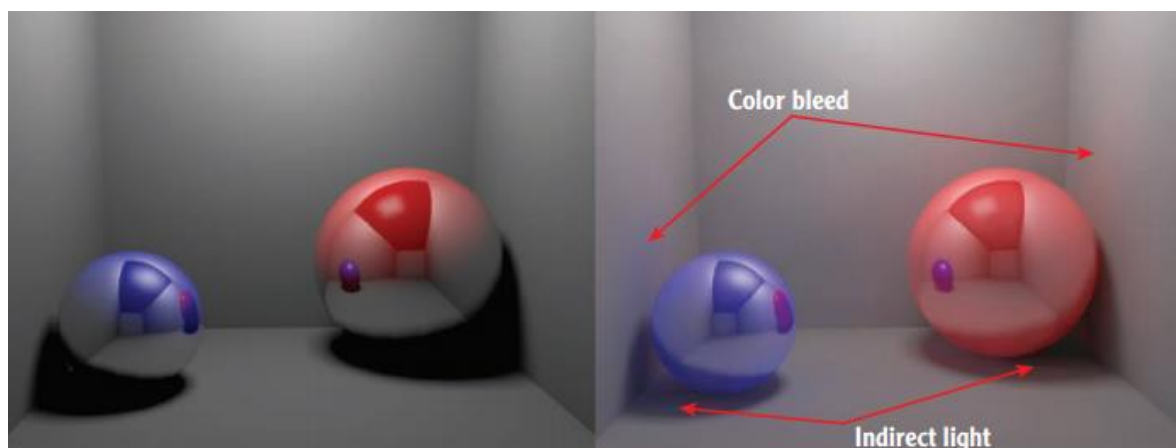
Renderöinti on 3D-grafiikan tuotannon vaihe, jossa tietokone luo stillkuvia tai videota 3D-mallien, varjostimien, tekstuurien, valaistuksen ja muun 3D-sovelluksen sisältämän tiedon perusteella. Renderöinti tehdään erilaisten renderöintimoottorien avulla. Renderöintimoottorit tuottavat kuvia joko reaaliajassa tai prosessoivat niitä niin kauan, kunnes ne ovat valmiita. Esimerkiksi pelimoottorien renderöintimoottorit tuottavat useita stillkuvia reaaliajassa. Usein tietokoneen laskentakapasiteetti ei kuitenkaan riitä tuottamaan haluttua kuvaa reaaliajassa, ja silloin käytetään ennalta laskettuja eli esirenderöityjä kuvia. Ennalta lasketut kuvat mahdollistavat monimutkaisempien kohteiden ja valaistusolosuhteiden luomisen ja kuvien mahdollisen jälkikäsittelyn. [15.]

Useimmat renderöintimoottorit tarjoavat kaksi perusero-renderointitekniikkaa, jotka ovat pyyhkäsyjuova (scanline) ja säteenjäljitys (Ray Tracing). Scanline-renderöinti on nopea tapa tuottaa kuvia, sillä se ei ota huomioon valon taittumista, heijastumia tai muita monimutkaisia valaistusolosuhteita. Scanline on nopeutensa puolesta hyvä vaihtoehto tuotannon suunnittelu- tai testivaiheessa. Pyyhkäsyjuovatekniikalla kuvan renderöidään rivi kerrallaan. Scanlinen nopeuteen vaikuttaa myös se, että se renderöi vain kameralle näkyvät polygonit. [15.]

Raytracing eli säteenjäljitys on kattavampi ja tarkempi mutta hitaampi renderöintitapa, sillä se tukee monimutkaisia valaistusominaisuuksia. Säteenjäljityksellä on mahdollista tuottaa paljon realistisempia kuvia kuin Scanline-renderöinnillä, sillä se pystyy tuottamaan realistisia heijastuksia ja valon taittumista. Säteenjäljityksessä jokaiselle ruudulla näkyvälle pikselille lasketaan valonsäde ja sen kulkema polku alkuperäisestä valonlähteestä ruudulle. Koska kaikki valonlähteiden tuottamat säteet eivät välttämättä osu kameraan, on niiden laskeminen hyvin epäkäytännöllistä. Tästä syystä säteenjäljityksessä lasketaan vain kameraan osuvien säteiden reitit. [15.]

Global illumination

Global illumination on renderöintimoottoreissa käytetty yleinen termi, jota käytetään kuvaamaan joukkoa erilaisia monimutkaisia valaistustapoja ja algoritmeja. Global Illumination -tekniikoiden käyttö mahdollistaa realistisen valaistuksen luomisen. Näin saadaan esimerkiksi värit heijastamaan ominaisväriään ympäristönsä, kuten kuvasta 12 voidaan havaita. Nämä algoritmit perustuvat yleensä säteenjäljitykseen, mutta lisäävät siihen ominaisuuksia. Valaisuefektien muuttuessa yhä monimutkaisemmiksi niiden renderöinti-aika kasvaa kuitenkin merkittävästi. [1.]



Kuva 12. Kuvassa näkyy, miten valo heijastaa kappaleiden ominaisväriä ympäristöön [1].

Fotonikartoitus (Photon Mapping) on yksi global illumination -algoritmeista, joka hyödynää säteenjäljitystä. Fotonikartoituksessa jokainen valonlähde lähettää ympärilleen fotoneita, jotka kimpoilevat 3D-tilassa jättäen loistejälkiä fotonien osumakohtiin. Fotonikartoitusta käytettäessä 3D-tilassa kappaleet vuotavat ominaisväriään ympäristönsä kuten reaali maailmassa, kuten kuvasta 12 voi havaita. Fotonikartoituksella saavutetaan myös

kuvassa näkyvä epäsuora valaistus. Fotonikartoituksen avulla voidaan luoda hyvin realistisia kohteita, mutta sen käyttö pidentää renderöintiäikää huomattavasti. Muita Global Illumination -tekniikoita ovat muun muassa radiositeetti (Radiosity) ja kuvapohjainen valaistus, jossa valaisuinformaatio otetaan suoraan HDR-kuvasta. [1.]

6 3D-grafiikan tulevaisuus

3D-grafiikan käyttö on lisääntynyt huomattavasti sen alkua ajoista. Käyttöä on lisännyt erilaisten sisällöntuotanto-ohjelmien ja tekniikan jatkuva kehitys. Tehokkaampien laitteistojen tarjoamat suuremmat laskentakapasiteetit mahdollistavat yhä monimutkaisempien ja yksityiskohtaisempien ympäristöjen ja kappaleiden mallintamisen ja realistisemmän valaistuksen. Erityisesti ohjelmistojen kehitys on helpottanut 3D-grafiikan luomista. 3D-ohjelmistojen hinnat ovat laskeneet ja samalla madaltaneet mallintamisen aloituskynnystä. Ilmaisten, kaikille saatavilla olevien avoimeen lähdekoodiin perustuvien eli open source -ohjelmien ansiosta kuka tahansa voi ryhtyä luomaan 3D- tai 2D-grafiikkaa. Avoimeen lähdekoodiin perustuvilla ohjelmilla, kuten Blenderillä, on mahdollista luoda kokonaisia 3D-lyhytelokuvia, joista hyvänä esimerkkinä ovat Blender-säätiön organisoimat, Blenderillä luodut lyhytelokuvat Big Buck Bunny (2008), Sintel (2010) ja Tears of Steel (2012). Blenderin ympärille on muodostunut suuri yhteisö, ja sen suosio kasvaa kaiken aikaa. Tulevaisuudessa erityisesti Blenderin kehittyessä onkin todennäköistä, että pienet ja uudet yritykset siirtyvät käyttämään avoimen lähdekoodin sovelluksia kalliiden lisenssimaksujen maksamisen sijaan. [20.]

Hintojen lisäksi olennainen osa kehitystä on ollut monipuolisuus. Alkuaikojen kömpelöt ja kalliit sovellukset ovat kehittyneet monipuolisiksi työkaluiksi, joiden rinnalle on myös syntynyt joukko erikoistarkoituksiin kehitettyjä ohjelmia ja liitännäisiä. Näiden erikoisohjelmien on tarkoitus yleensä helpottaa tai yksinkertaistaa 3D-grafiikan luomista tarjoamalla uudenlaisia työkaluja tai esiohjelmoituja toimintoja. Marmoset Toolbag on esimerkki sovelluksesta, joka helpottaa 3D-mallin esittelyä. Marmoset Toolbag antaa mallintajalle mahdollisuuden muokata mallin valaistusominaisuuksia ja lisätä malliin jälkituotannossa käytettäviä erikoistehosteita reaaliajassa. Teksturointiin tarkoitettu MARI puolestaan tarjoaa monipuoliset työkalut suoraan 3D-mallin päälle maalaamiseen reaaliajassa. MARI:n avulla voidaan luoda tarkkoja tekstuureita teknisistä yksityiskohdista huolehtimatta, ja se antaa jopa taiteilijalle vapaammat kädet sisällön luomiseen.

Uusien sovelluksien tulevaisuus markkinoilla riippuu monesta tekijästä, joista tärkeimpänä voidaan pitää niiden hyödyllisyyttä. Markkinoille tulee varmasti uusia sovelluksia ja liitännäisiä, mutta vain parhaat niistä menestyvät. Sovellushankintoja tehtäessä uudet työkalut voivat vaikuttaa hyödyllisiltä, mutta ennen hankintaa on syytä tarkkaan miettiä niistä saatavaa todellista hyötyä, niiden yhteensopivuutta työprosessiin ja niistä aiheutuvia kustannuksia.

Aloituskynnystä 3D-grafiikan parissa madaltavat myös Internetistä saatavilla olevat ohjeet ja ohjevideot. Aloittelevalle mallintajalle Internetin lukuisat videot ovat kuitenkin aihepiireiltään suhteellisen pirstaleisia, ja aloitus voi tuntua vaikealta. Yhtään vakavissaan olevalle aloittelijalle onkin suositeltavaa tutustua 3D-opetusvideoita tarjoaviin verkkopalveluihin, kuten Digital Tutorsiin. Digital Tutors ja muut samantyyppiset verkkopalvelut tarjoavat lukuisia ammattilaisten tekemiä ohjevideoita, jotka vaihtelevat tasovaatimuksiltaan aloittelijasta rautaiseen ammattilaiseen. Puhtaasti ammattilaisille suunnattu Gnomon Workshop tarjoaa puolestaan huippuammattilaisten tekemiä laadukkaita DVD:itä ja suhteellisen laajaa, mutta kallista videokirjastoa. Mainitut videokirjastot ovat vartenotettava vaihtoehto kalliille ja pitkille taidekouluille, oli kyseessä sitten alalle pyrkivä aloittelija tai pelkkä harrastelija. Laadukkaiden opetusmateriaalien ansiosta alalle päätyy jatkossa varmasti yhä useampi 3D-grafiikasta kiinnostunut. [15.]

Lisääntyneestä automaatiosta huolimatta 3D-grafiikan tuotannossa tullaan aina tarvitsemaan ihmisiä taiteellisen näkemyksen toteutumiseksi. Vaikka 3D-skannaustekniikat kehittyvät jatkuvasti, 3D-grafiikan ammattilaisia tarvitaan fiktiivisen materiaalin luomisessa.

7 Nokian renkaiden Nokian-testiradan esittelyvideo

Insinööriyön tavoitteena oli tuottaa muutaman minuutin mittainen esittelyvideo Nokian renkaiden Nokian-testiradasta (kuvassa 13). Video on suunnattu yritykseen sisäiseen käyttöön, ja sen tarkoituksena on perehdyttää työntekijät radan ominaisuuksiin ja testipisteisiin.



Kuva 13. Nokian Renkaiden Nokian-testiradan ilmakuva.

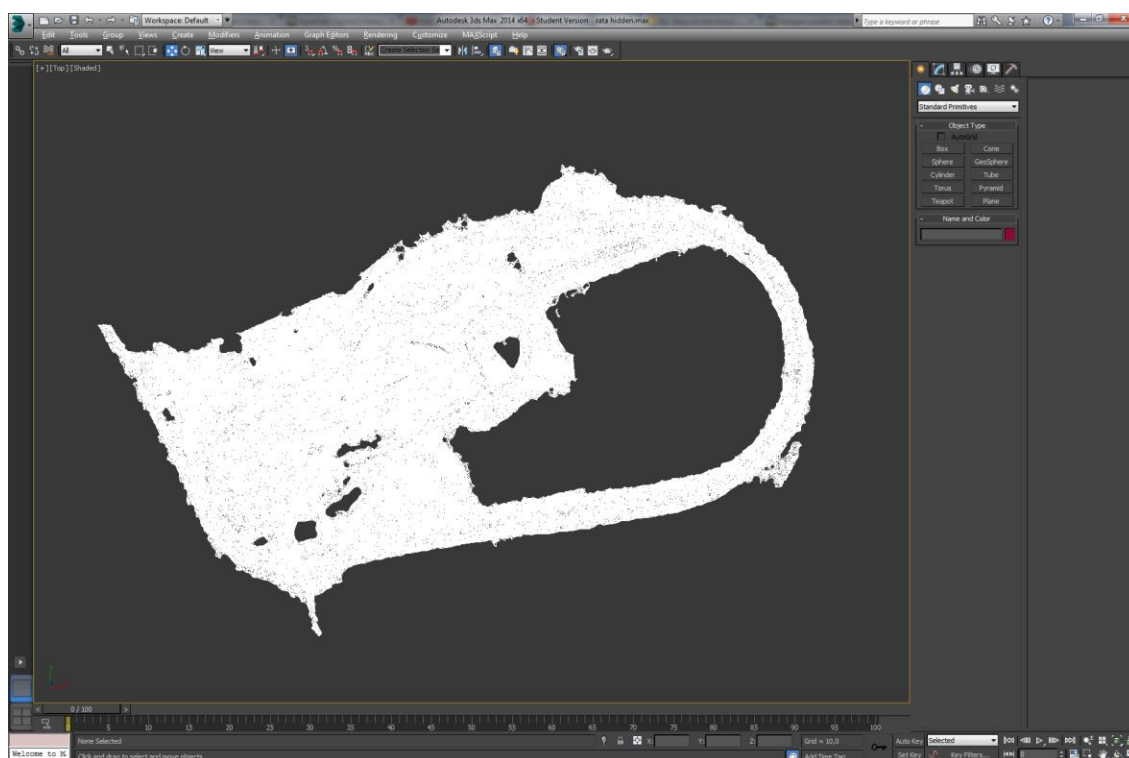
Videossa kiinnitettiin erityistä huomiota radan erityisominaisuuksiin, kuten sohjotestaukseen. Video koostettiin Alasinmedian kuvaamista videopätkistä ja testiradan 3D-malliin animoiduista kamera-ajoista. Erilaisia videopätkiä radalta oli kuvattuna noin 22 minuutin verran. Alkuperäinen video sisälsi useita otoksia radan eri testipisteiltä ja muutaman minuutin verran kopterilla kuvattua ilmakuvaa.

Testikeskuksen 3D-mallinnus

Nokian testirata mallinnettiin Metropolia Ammattikorkeakoulun maanmittaustekniikan tuottamien tietojen perusteella. Käytettävissä oli tarkka ilmakuva koko testiradasta ja pistepilviainesto maaston korkeuseroista. Pistepilven maastodata ei kuitenkaan suoraan ollut hyödynnettävissä 3ds Maxissa sen raskauden ja sen sisältämien päällekkäisyyksien vuoksi. Maastoaineisto tuotiin 3ds Maxiin splineina, ja se sisälsi noin 2,3 miljoonaa verteksiä. 3ds Max 2012:n viewportien suorituskyky loppui tässä vaiheessa kesken. Viewportin kameraa liikuttamalla kuva päivittyi kerran noin kahdessa sekunnissa. Tässä vaiheessa työtä päätettiin kokeilla 3ds Maxin versiota 2014, jossa yleisen suorituskyvyn

lisäksi on parannettu viewportin suorituskykyä. Parantuneen viewportin suorituskyvyn ansiosta maastodatan tarkastelu helpottui merkittävästi uudemmalla 3ds Maxilla. Päällekkäisyyksien takia maastodan päälle ei kuitenkaan voitu vielä mallintaa. Lisäksi maastodataa ei sen raskauden vuoksi pystynyt suoraan muuntamaan polygoneiksi. Maastodata oli 3ds Maxille myös niin raskas, että sitä ei voinut muokata edes poistamalla verktejä. Maastodatan raskaus johtui kaikeksi siitä, että se oli alun perin vektoridataa, jolle 3ds Max pyrki asettamaan mahdollisimman tarkat likiarvot splineilla. Pistepilven muokaus ei siis onnistunut 3ds Maxin sisällä, eikä sitä voinut tuontiasetuksissa muuntaa polygoneiksi.

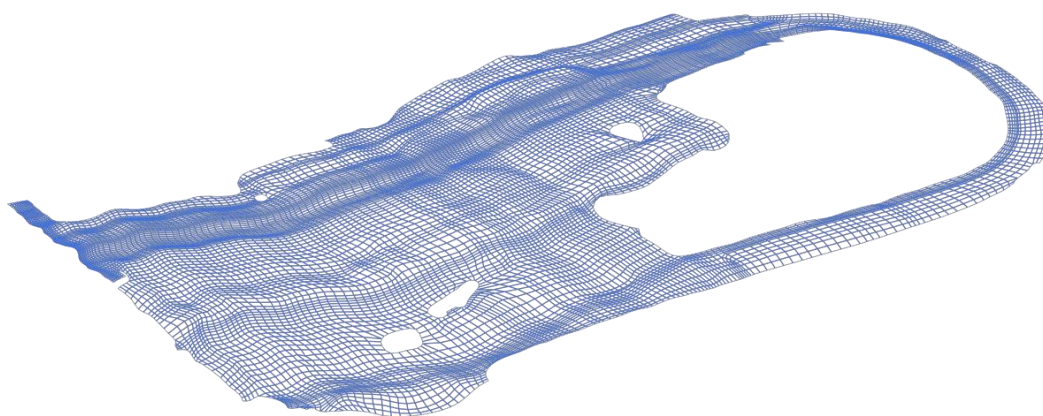
Maastodataa päätettiin muokata AutoCAD:ssa. Datasta yritettiin poistaa kaikki ylimääräinen purge-komennolla, mutta se ei juurikaan tuottanut tulosta. Overkill-komento sen sijaan toimi, ja sen avulla saatiin poistettua noin 20 000 ylimääräistä polygonia, jotka olivat päällekkäin tai sisäkkäin. Tämän jälkeen maastodatasta poistettiin manuaalisesti vielä turhia alueita, joita ei tarvinnut mallintaa. Tämä operaatio kevensi maastodataa jonkin verran. Maastodata tuotiin uudestaan 3ds Maxiin, ja siitä oli hävinnyt noin 200 000 tarpeetonta verteksiä. 3ds Maxiin tuotu maastodata näkyy kuvasta 14. Päällekkäisyyksien poistamisen ansiosta datasta pystyi nyt erottamaan maaston muotoja. Maastodataa ei kuitenkaan voitu vielä muuntaa polygoneiksi helppoa editointia varten.



Kuva 14. Maanmittaustekniikan opiskelijoiden tuottama maastoaineisto 3ds Maxissa.

Seuraavaksi kokeiltiin sen pilkkomista pienempiin osiin. Koska kuudesosankin suora muuttaminen kaatoi ohjelman, ajatus todettiin mahdottomaksi. Työtä tehdessä huomattiin, että CAD-ohjelmien tuottamaa dataa on syytä käsitellä mahdollisimman paljon ennen sen tuomista 3ds Maxiin. Erityisen tärkeää on siistiä olemassa olevat käyrät ja piirustukset ja poistaa kaikki ylimääräinen tieto. Tällä tavoin CAD-ohjelmista tuodun tiedon käsittely helpottuu ja nopeutuu huomattavasti. Suurehkon rata-alueen pilkkominen osiin olisi voinut helpottaa sen käsittelyä.

Helppoa tapaa height-, displacement- tai normaalikarttojen luomiseen ei löydetty, joten 3D-malli päätettiin luoda käsin. Mallinnusvaihetta helpottamaan 3ds Maxin materiaalieditorissa luotiin oma materiaali. Varjostin asetettiin rautalankatilaan (wire), jossa vain polygonien reunat saavat väriarvon ja sävyksi valittiin sininen. Materiaali ja maastomalli näkyvät kuvassa 15. Mallinnustavaksi valittiin reunamallinnus. Reunamallinnus on polygonimallinnustekniikka, jossa polygoneja luodaan siirtämällä yhtä tai useampaa reunaa. Reunamallinnusta tehdään valitsemalla sopiva määrä reunoja, minkä jälkeen painetaan Shift-näppäin pohjaan ja vedetään hiiren osoitinta eteenpäin haluttuun pisteeseen, jolloin 3ds Max muodostaa rivin polygoneja alku- ja loppupisteen välille.



Kuva 15. Maaston rautalankamalli.

Tekniikkaa saattaa kuulostaa monimutkaiselta, mutta sen avulla on kätevää luoda tarkkaa topologiaa ja hyvää reunavirtausta (edge flow) huomattavasti nopeammin kuin käyttämällä laatikkomallituksen valmiita primitiivejä. Reunamallituksen tuloksena lopullinen malli oli suhteellisen kevyt. Teräviä reunoja tasoitettiin TurboSmooth-muuntimella, jolle annettiin yksi toistokerta. Tarvittavien reunasilmukoiden lisäämisen jälkeen 3D-mallissa oli noin 3 000 polygonia, TurboSmoothin kanssa noin 25 000. Maaston luomisen jälkeen radalle luotiin yksinkertaiset mallit radalla olevista rakennuksista radalta otettujen valokuvien ja ilmakuvan perusteella.

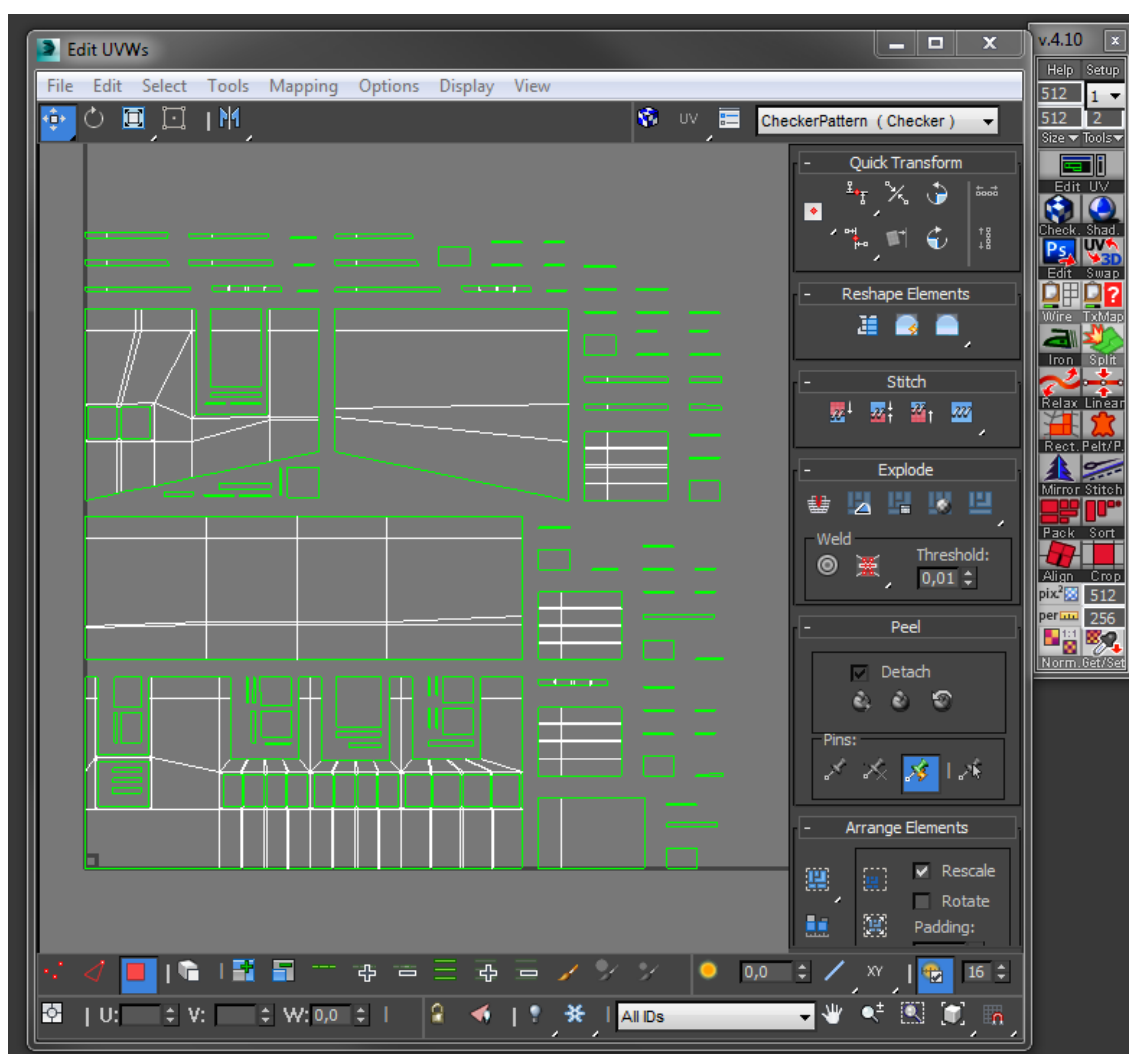
Maastomallin valmistuttua siirryttiin mallintamaan varsinaista testirataa. Testiradan mallintaminen maastodatan perusteella olisi ollut turhan aikaavievää, joten se päätettiin toteuttaa tarjolla olevan ilmakuvan perusteella. Jotta referenssikuva saatiin näkymään 3ds Maxissa, sille luotiin oma taso. Alkuperäinen ilmakuva oli kuitenkin liian raskas 3ds Maxin käsiteltäväksi, joten sitä oli muokattava. Ilmakuvaa oli myös pakko muokata sen tiedostotyypin takia, sillä 3ds Max ei tue JPG 2000 -muotoisia kuvia. Ilmakuvasta karsittiin ratamallin kannalta turhat osat Photoshopissa. Ilmakuva sisälsi myös paljon turhaa kuvaa, ja sitä karsittiin pakkaamalla kuva häviöllisesti jpg-tiedostomuotoon.

Tämän jälkeen pakattu kuva asetettiin 3ds Maxissa luodulle tasolle tekstuuriksi. Oletuksena 3ds Max antaa viewportissa näkyville bittikarttakuville kuitenkin turhan matalan oletusresoluution, ja etenkin suuria kuvakokoja käytettäessä kuvat näyttävät todella suttuisilta. 3ds Max 2014:ssä ongelman voi korjata viewport configuration -valikon display performance -kohdasta nostamalla viewportissa näytettävien tekstuurien maksimiresoluutiota ja poistamalla ruksin kohdasta "Improve Quality Progressively". Tämän korjaustoimenpiteen jälkeen rataosuus mallinnettiin referenssikuvan päälle Edit Poly -tilassa polygonitasolta Edit Geometry -osiossa sijaitsevan Create-työkalun avulla. Työkalulla polygonin verteksit asetellaan, käsin ja ohjelma luo verteksien välille automaattisesti reunan. Luomisprosessi loppuu, kun viimeinen verteksi yhdistetään lähtöpisteeseen, jolloin ohjelma luo rajatusta alueesta polygonin. Näin saadaan aikaiseksi yksi iso polygoni. Polygonin verteksien välille täytyy kuitenkin vielä muodostaa reuna, sillä prosessin tuottama n-kulmio ei ole missään tapauksessa käyttökelpoinen. Yhdistämisen voi tehdä pikanäppäimillä käyttämällä Connect-työkalua tai Edge-tilan alta löytyvällä Creta-työkalulla, joka on huomattavasti nopeampi käyttää. Samalla voidaan myös hyödyntää Edge-tilan Insert Vertex -työkalua ja lisätä verteksejä, jos polygoneja ei saa tasaisesti jaettua

nelikulmaisiksi. Luotu ratamalli asetettiin aiemmin luodun maastomallin päälle, ja se asetettiin mukailemaan maaston kulkua. Rataosuuden mallintaminen olisi voitu tehdä helposti myös mallintamalla rata splineina ja muuttamalla se polygoneiksi.

Testikeskuksen teksturointi

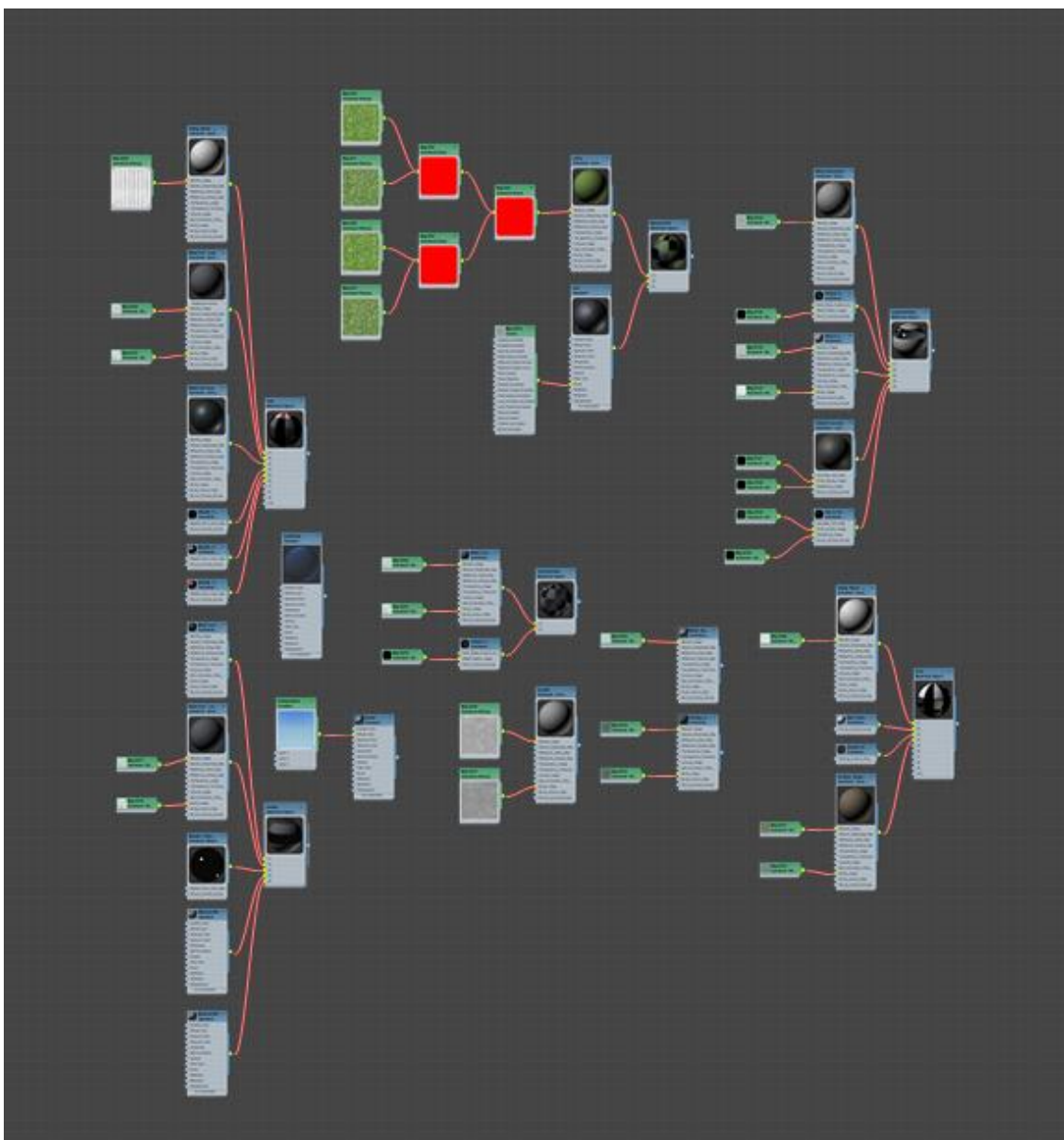
Testikeskuksen UV-kartoitus tehtiin 3ds Maxin valmiilla heijastusasetuksilla. Maasto- ja ratamallit sisälsivät vain suhteellisen pieniä korkeusvaihteluja, ja molemmissa käytettiin valmista tasoheijastusta. Rakennusten UV-kartat puolestaan jouduttiin laatimaan käsin, koska ne sisälsivät monimutkaisempia muotoja. UV-kartoituksen nopeuttamiseksi kokeiltiin TexTools-liitännäistä, joka on kuvassa 16.



Kuva 16. 3ds Maxin UV-editori ja sen oikealla puolella TexToolsin työkalut.

3ds Maxin tarjoama UV-editori on hiukan kömpelö, sillä kaikkia tarvittavia toimintoja ei saa yhdistettyä pikanäppäimiin eivätkä kaikki työkalut aina toimi täysin halutulla tavalla. Esimerkiksi Relax-työkalun tuottama jälki jättää usein paljon toivomisen varaa. TexTools tarjoaa joukon hyödyllisiä työkaluja, jotka nopeuttavat UV-kartoitusta. Yksi näistä työkaluista on Relax UV Selection, joka toimii usein huomattavasti paremmin kuin 3ds Maxin vastaava. Toinen esimerkki tämän liitännäisen tarjoamista työkaluista on Iron, joka yhdistää valitut polygonit yhdeksi saarekkeeksi, jolloin kohteen reunoja ei tarvitse yhdistää erikseen Stitch-työkalulla. Iron-työkalun käyttö on usein myös nopeampaa kuin valmiiden heijastustyökalujen käyttö. TexToolsin käyttöönotto on myös helppoa, sillä se voidaan asentaa raahaamalla sen asennustiedosto 3ds Maxin päälle. Myöhempää käyttöä varten TexToolsille voidaan asettaa oma pikakuvake 3ds Maxin työkaluriville. Kaiken lisäksi se on ilmainen, joten sen käyttö on suositeltavaa etenkin paljon UV-karttoja käsittelevälle.

Radan ja rakennusten UV-kartoituksen jälkeen luotiin tarvittavat materiaalit. Tekstuuri-karttoja ei päätetty kuitenkaan lähteä luomaan itse, sillä 3ds Maxin Mental Ray -renderöintimootoria varten 3ds Maxissa on oma suhteellisen laaja materiaalikirjasto. Animaation kannalta materiaalit sisälsivät kuitenkin turhia ja renderöintiä paljon hidastavia ominaisuuksia, joita päätettiin karsia. Materiaaleista poistettiin esimerkiksi kohoumakartat, joita ei tulisi nopeissa kamera-ajoissa huomaamaan. Poikkeuksena oli vesimateriaali, joka, luotiin lisäämällä Ocean-kartta standardimateriaalin kohoumakartaksi. Valmiina 3ds Maxista olevassa Ocean-kartassa on useita säädettäviä ominaisuuksia. Parametreilla voidaan hallita esimerkiksi aaltojen kokoa, määrää, jyrkkyyttä ja nopeutta. Tarjolla olevilla vaihtoehdoilla pystyy toteuttamaan monenlaisia vesialueita. Kohoumakarttoja lisättäessä tulisi kuitenkin muistaa, että 3ds Max asettaa bump-kohdan oletusarvoksi 30 eikä 100, minkä vuoksi kohoumakartat näkyvät usein huonosti, jos arvoa ei muista nostaa. Vesimateriaalin sävy napattiin ilmakuvasista, ja lisäksi sen specular- ja gloss-arvoja muokattiin, jotta se näyttäisi enemmän vedeltä. Ruoho- ja asfalttimateriaalien heijastus- ja taittumisasetuksia karsittiin renderöinnin nopeuttamiseksi. Molemmille asetettiin arvo 2. Sama toimenpide toistettiin kaikille ratarakennuksissa käytetyille materiaaleille. Kaikki rataskenen materiaalit 3ds Maxin uudemmassa slate-materiaalieditorissa näkyvät kuvassa 17.



Kuva 17. Käytetyt materiaalit slate-materiaalieditorissa.

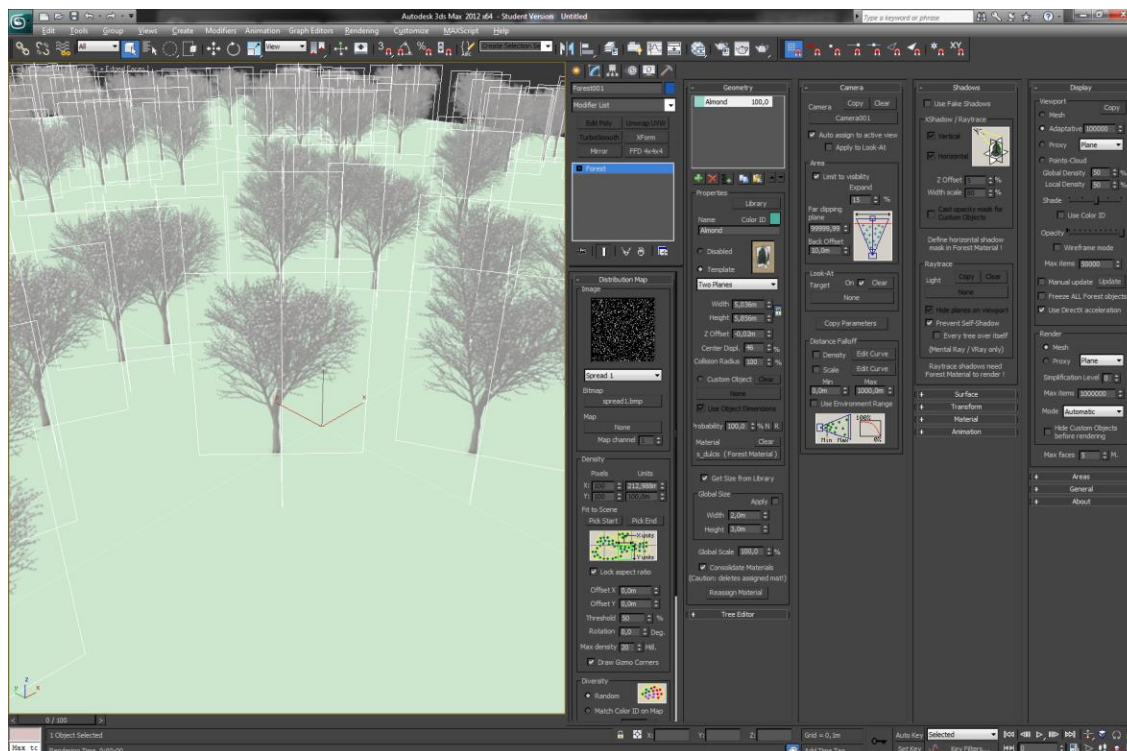
Materiaalit aseteltiin paikoilleen material ID:n avulla. Material ID:n käyttö perustuu Multi-SubObject-”materiaaliin”, jossa kappaleelle annetaan päämateriaali, joka sisältää useita alimateriaaleja. Material ID:n eli tunnisteen perusteella materiaalit voidaan asettaa paikoilleen. Asettelu tehdään asettamalla halutulle polygonille tai polygonijoukolle oma tunniste. Tämän tekniikan avulla monimutkaistenkin polygonijoukkojen materiaalia voidaan vaihtaa suoraan materiaalieditorista ilman, että niitä tarvitsee asettaa uudestaan kyseisen kappaleen tai valinnan kohdalle. Kuvassa 18 on teksturoitu testikeskus.



Kuva 18. Testikeskuksen 3D-malli ja rakennukset teksturoituina.

Kasvillisuus

Alueen suuren koon takia puiden lukumäärä olisi huomattavan suuri. Tästä syystä 3D-mallinnettuja puita ei niiden runsaan polygonimäärän takia voitu käyttää. Ainut vaihtoehto oli käyttää ympäristöön 2D-puita eli tasoja, joille on asetettu puutekstuuri, ja koska kyseessä on 3D-animaatio, jossa kamera sukeltaa ylhäältä alas, ne näyttäisivät erityisen tökeröiltä. Puut pitäisi siis saada aseteltua ennalta määrätyle alueille satunnaisesti, ja niiden kuvatasot pitäisi saada kääntymään automaattisesti kameraa kohti. Yksi vaihtoehto olisi ollut käyttää Itoo Software Forest Pack -liitännäistä (kuvassa 19) 3ds Maxiin.



Kuva 19. Itoo Forest Packin käyttöliittymä ja ympäristöön huonosti sopivat mantelipuut.

Ongelmana Forest Packin kanssa oli se, että ilmaisversiossa oli tarjolla vain kahdenlaisia puita, manteli- ja laakeripuita, joista kumpikaan ei sopinut radan ympäristöön. Puut jätettiin siis kokonaan pois. Ruohoa olisi voitu Forest Packin lisäksi luoda partikkeleilla, mutta testikeskuksen suuren koon takia sitäkään ei voitu toteuttaa animaatioon. Ilmasta kuvattujen yleiskuvien renderöinti pysähtyi muistin loppumisen takia. Ruohon lisääminen noin 700 metrin levyiselle alueelle osoittautui tällä erää mahdottomaksi tehtäväksi. Ruohon olisi voinut lisätä jokaiseen kamera-ajoon erikseen ja poistaa sen yleiskuvasta, mutta tämä olisi ollut erittäin työlästä. Ruohon lisääminen olisi myös pidentänyt renderöintiaikoja merkittävästi, jolloin projektin valmistuminen olisi viivästynyt, eikä lyhyt ruoho nopeissa kamera-ajoissa olisi saanut aikaan merkittävää eroa.

Valaistus ja animointi

Kaikki luodut kamerat olivat kohdekameroita. Kamera-ajot olivat lyhyitä ja nopeita noin parin sekunnin mittaisia otoksia. Kamera-ajot laadittiin käsikirjoituksen ja yrityksen lähettämän kartan perusteella. Valaistus skeneen luotiin 3ds Maxin daylight-järjestelmällä.

Näin saatiin uskottavan näköinen valaistus ulkotilaan käyttämättä useampaa valonlähdettä. Lisäksi ratamallia hallitseva musta tausta vaihdettiin kolmivärisen siniseen liukuväriin.

Renderöinti ja koostaminen

Renderöintiin käytettiin 3ds Maxin mukana tulevaa Mental Ray -renderöintimoottoria, koska siitä oli työn tekijällä aikaisempaa kokoemusta. Projektin tekovaiheessa testikuvia renderöintiin kuitenkin Scanline-renderöintimoottorilla sen nopeuden takia. Mental Ray valikoitui myös sen mukana tulevan laajan materiaalikirjaston takia. Vray olisi ollut kallis vaihtoehto, ja sen käyttöön olisi pitänyt perehtyä tarkemmin. Renderöinnin nopeuttamiseksi materiaalien heijastuksien ja valon taittumiskertoja karsittiin ruohon ja asfaltin osalta niin, että yhden kuvan renderöintiin kului noin 50 sekuntia. Kamera-ajot renderöitiin Full HD -tarkkuudella ja verkkovideoille luontevalla 30 ruudun sekuntinopeudella. Kuvat renderöintiin 24-bittisinä PNG-kuvina ilman alfa-kanavaa, koska kuvat haluttiin häviöttömästi pakattuina, mutta kuvissa ei tarvittu läpinäkyvyyttä. Video koostettiin Adobe Premiere -editointiohjelmalla, jossa valmiiksi kuvatut videopätkät ja kamera-ajot editoitiin yhdeksi kokonaisuudeksi. Jälkikäsitteilyä ei koettu projektissa tarpeelliseksi.

8 Yhteenveto

Insinöörityössä tutkittiin 3D-mallinnetun sisällön hyödyntämistä yritysvideossa. Työ keskittyi erityisesti 3D-mallinuksen ja 3D-visualisoinnin tekniikoihin, työvaiheisiin ja haasteisiin. Työssä tutkittiin erilaisia vaihtoehtoja ja vaatimuksia 3D-grafiikan luomiseen ja 3D-grafiikan työvaiheita 3ds Maxilla. Työn tavoitteena oli tuottaa 3D-animaatiota sisältävä esittelyvideo Nokian Renkaille Nokian-testiradasta.

Insinöörityön tutkimusvaiheessa selvisi, että suuri osa arkkitehtuurisen visualisoinnin töistä renderöidään Vray-renderöintimoottorilla. Vray selviytyy Mental Rayta paremmin suuresta määrästä polygoneja, ja sen väitetään tuottavan parempaa jälkeä muun muassa tarkan valaistuksen osalta. Vrayn suosiosta huolimatta sen käyttö ei ollut perusteltua työssä sen hinnoittelun takia. Vrayn lisenssi on suhteellisen kallis, ja sen hinta on noin tuhat euroa. Kustannusten vuoksi onkin suositeltavaa opetella perusasiat 3ds Maxin mukana tulevalla Mental Ray -renderöintimoottorilla ja vasta taitojen kehittyessä siirtyä käyttämään muita (maksullisia) renderöintimoottoreita. Vrayn käyttö ei myöskään ollut

perusteltua projektin aikataulun vuoksi, sillä Vraytä käytettäessä ei voida hyödyntää Mental Raysta löytyvää laajaa materiaalikirjastoa, vaan materiaalit täytyy luoda erikseen. Tutkimuksen perusteella onkin suositeltavaa, että renderöintimoottoria vaihdetaan vasta, kun perusasiat ovat tarpeeksi hyvin hallussa ja vaihtamisesta saadaan riittävästi hyötyä.

Laadukkaan 3D-sisällön luomisen todettiin olevan vaativaa työtä. Sisällöntuotanto vaatii paljon kokemusta, tietotaitoa, aikaa ja usein myös rahaa. 3D-sisällöntuottajan on ehdottomasti hallittava käyttämänsä työkalut, erityisesti käytettävä 3D-mallinnusohjelmisto. Pelkän mallintamisen hallitseminen harvoin riittää, ja usein mallintajan työnkuvaan kuuluu paljon muutakin. UV-kartoitus, teksturointi ja valaisu ovat olennaisia osia osaavan mallintajan työkalupakkia. Erityisesti realististen tekstuurien luomien on vaativaa työtä ja edellyttää hyviä kuvankäsittelytaitoja, luovuutta ja teknistä ymmärrystä. Työtä nopeuttaa aina laajan visuaalisen kirjaston ja tekstuurikokoelman omistaminen tai ostaminen.

Itsestään selvän ammattiosaamisen lisäksi 3D-sisällöntuottaja hyötyy suuresti monista oheistaidoista. Esimerkiksi valokuvaustaito auttaa digitaalisessa kameratyöskentelyssä. Valokuvaustaustasta on hyötyä erityisesti sommittelua ja rajausta tehtäessä. Kameralla otetuista valokuvista puolestaan kuvankäsittelytaitoinen sisällöntuottaja voi luoda käyttökelpoisia tekstureja. Valokuvakokoelmaa ylläpitämällä saa myös paljon hyviä referenssikuvia käyttöönsä. Tietämys on tärkeää etenkin renderöintivaiheessa, jolloin on tärkeää tietää kuva- ja videotekniikan yksityiskohdista, sillä huonoilla asetuksilla renderöidyn sisällön uudelleen renderöintiin kuluu paljon aikaa.

Teknisten taitojen lisäksi 3D-sisällöntuotannossa on tärkeää olla ainakin peruskäsitys perinteisen taiteen aloista ja tekniikoista. Esimerkiksi perspektiivien, väriteorian, sommittelun, anatomian sekä valojen ja varjojen tuntemuksesta on suoraa hyötyä 3D-grafiikan luomisessa. Piirto-, maalaus- ja veistotaidot helpottavat lisäksi sekä tekstuurien luomista että esituotantoa. Näistä taidoista on korvaamatonta hyötyä esimerkiksi referenssikuvia tai tekstuurikarttoja laadittaessa. 3D-grafiikan luominen on monipuolinen ja vaativa taiteenlaji, joka edellyttää teknistä tietotaitoa ja vahvaa osaamista. 3D-sisällöntuottajana kehittyminen tarkoittaakin jatkuvaa kehitystä ja elinikäistä oppimista.

3D-grafiikan avulla työssä tehtyyn videoon saatiin lisää vaihtelua, ja 3D-mallia on mahdollista hyödyntää vielä myöhemminkin. Suurten kasvillisuusalueiden toteuttaminen liikkuvaan kuvaan todettiin puolestaan haastavaksi. Vaikka pistepilvi havaittiin hyödylliseksi

apukeinoksi mallinnusvaiheeseen, ei sen käyttö näin laajalla ja vähän korkeuseroja sisältävällä alueella ollut kuitenkaan täysin perusteltua. Laajoja tasaisia alueita esitettäessä pistepilvellä saavutetut tarkat mitat menevät melko lailla hukkaan, erityisesti jos käyttökohteena ovat nopeat, paljon korkeusvaihtelua sisältävät lyhyet kamera-ajot. Pistepilven ansiosta radan pinnanmuodot saatiin kuitenkin hyvin esitettyä, vaikka sen hyödyntäminen ei sujunutkaan aivan ongelmitta. Pistepilven ansiosta radan mallintamiseen ei tarvittu juurikaan erillisiä referenssikuvia ilmakuvaan lisäksi. Voidaan siis todeta, että pistepilvi on hyvä referenssi mallintamista varten, jos se on käsitelty helposti hyödynnettävään muotoon. Pelkän pistepilven perusteella mallintaminen on kuitenkin haastavaa ja tukena on syytä olla myös muuta referenssimateriaalia. Tässä tapauksessa työn tekemistä rajoitti myös olematon budjetti. Pienikin budjetti saattaa helpottaa 3D-työtä merkittävästi. 3D-projekteihin tarvitaankin aina aikaa, rahaa ja tietotaitoa.

Lähteet

1. Beane, Andy. 2012. 3D Animation Essentials. Indianapolis: Sybex.
2. Linnake, Tuomas. 2008. Kuva leijumaan digitaalisella holografialla. Verkkodokumentti. <<http://www.digitoday.fi/tiede-ja-teknologia/2008/01/29/kuva-leijumaan-digitaalisella-holografialla/20082854/66>>. Luettu 30.2.2014.
3. Prodan, Alessandro. 2009. Mies van der Rohe Farnsworth House. <<http://forums.cgsociety.org/showthread.php?f=132&t=754315&page=1&pp=15>>. Luettu 1.6.2013.
4. Cowley, Dana. 2012. Architectural visualization. Verkkodokumentti. <<https://www.unrealengine.com/showcase/architectural-visualization>>. Luettu 11.3.2014.
5. Ms House Cryengine. 2013. Verkkodokumentti. costasb. <<http://www.ronenberkerman.com/forums/gpu-based-rendering-real-time/3301-ms-house-cryengine.html>>. Luettu 10.3.2014.
6. Kumparak, Greg. 2014. Epic Games Tries Something New, Licenses All Of Unreal Engine 4 For \$19 A Month. Verkkodokumentti. Techcrunch. <<http://techcrunch.com/2014/03/19/epic-games-tries-something-new-licenses-all-of-unreal-engine-4-for-19-a-month/>>. Luettu 20.3.2014.
7. Kohr, Matt. 2012. Designing with Reference. Verkkodokumentti. <<http://ctrlpaint.com/videos/designing-with-reference>>. Luettu 10.6.2013.
8. Lloret, Rodrigo. P-40 Warhawk – Pacific War. Verkkodokumentti. <<http://www.cgarena.com/freestuff/tutorials/maya/pacificwar/>>. Luettu 1.5.2013.
9. Hosking, Claire. 2013. Opinion: Stop dwelling on graphics and embrace procedural generation. Verkkodokumentti. <<http://www.polygon.com/2013/12/10/5192058/opinion-stop-dwelling-on-graphics-and-embrace-procedural-generation>>. Luettu 16.5.2014.
10. Girard, Dave. Speedtree 6 Brings Mac Compatibility. Polygons, pixels & paint. Verkkodokumentti. <<http://polygonspixelsandpaint.tumblr.com/post/8609829411>>. Luettu 1.5.2013.
11. Debevec, Paul. 1999. What is Image-Based Modeling and Rendering? And What is Image-Based Lighting? Verkkodokumentti. <www.pauldebevec.com/IBMR99/10notes.pdf>. Luettu 5.5.2013.
12. Xinogalos, Michael. 2007. How Laser Scanning Works. Verkkodokumentti.

- <http://www.youtube.com/watch?v=_NxCfYkPYBI>. Luettu 3.5.2013.
13. Slick, Justin. 7 Common Modeling Techniques for Film and Games. Verkkodokumentti. <<http://3d.about.com/od/3d-101-The-Basics/a/Introduction-To-3d-Modeling-Techniques.htm>>. Luettu 1.5.2013.
 14. Transforms. Verkkodokumentti. Autodesk 3ds Max 2014 Help. <<http://docs.autodesk.com/3DSMAX/16/ENU/3ds-Max-Help/index.html?url=files/mePortal.htm,topicNumber=d30e3670,hash=GUID-78A6D949-65A2-4E11-B51B-AC60B28599B6>>. Luettu 4.6.2013.
 15. Chopine, Ami. 2011. 3D Art Essentials: The Fundamentals of 3D Modeling, Texturing, Animation. Oxford: Focal Press.
 16. Introduction to polygons. Verkkodokumentti. Autodesk Maya 2014 Help. <http://download.autodesk.com/global/docs/maya2014/en_us/index.html?url=files/Polygons_overview_Introduction_to_polygons.htm,topicNumber=d30e151211>. Luettu 5.5.2013.
 17. Knowland, Michael. 2013. The Last of Us - Character Sculpts (+ images Pg 8 & Pg 12). Verkkodokumentti. <<http://www.zbrushcentral.com/showthread.php?178789-The-Last-of-Us-Character-Sculpts-%28-images-Pg-8-amp-Pg-12%29>>. Luettu 5.5.2013.
 18. Ahearn, Luke. 2006. 3D Game Textures: 3D Game Textures: Create Professional Game Art Using Photoshop. Oxford: Focal Press.
 19. Boughen, Nicholas. 2005. 3ds max Lighting. Texas: Wordware Publishing.
 20. Open Projects. Verkkodokumentti. Blender Foundation. <<http://www.blender.org/features/projects/>>. Luettu 15.6.2013.