

3D-efektien luominen Blenderissä

LAB-ammattikorkeakoulu
Insinööri (AMK), Tieto- ja viestintäteknikka
2020
Viljami Keränen

Tiivistelmä

Tekijä(t) Keränen, Viljami	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Valmistumisaika 2021
	Sivumäärä 36	
Työn nimi 3D-efektien luominen Blenderissä		
Tutkinto Tieto- ja viestintäteknikka (AMK)		
Ohjaavan opettajan nimi, titteli ja organisaatio Ismo Jakonen, lehtori, Tieto- ja viestintäteknikka		
Toimeksiantajan nimi, titteli ja organisaatio Jani Wallenius, yrittäjä, Promedia Finland		
Tiivistelmä <p>Opinnäytetyön tavoitteena oli luoda visuaalisia 3D-efektejä Blender-ohjelmalla. Efektejä luotiin kaksi, ja niiden tavoitteena oli olla tarpeeksi laadukkaita, jotta niitä voitaisiin mahdollisesti käyttää lahtelaisen Promedia-mainoselokuvayhtiön dokumenttielokuvassa. Luoduista efekteistä yksi oli liehuvaa lippua esittävä efekti, ja toinen elokuvallinen tekstianimaatio. Keskeisin tavoite oli selvittää millä Blenderin ominaisuuksilla saataisiin aikaan paras lopputulos.</p> <p>Työn teoriaosuudessa käytiin läpi 3D-grafiikan käyttöä yleisesti, sommitteluteknikoita ja Blender-ohjelman ominaisuuksia. Keskeisimpinä käsiteltävinä Blenderin ominaisuuksina olivat 3D-mallinnus, materiaalit, valaistus, simulaatiot ja renderöinti.</p> <p>Käytännönsuudessa käytiin läpi molempien 3D-efektien luomisprosessi. Luomisprosessista kerrottiin mitä efekteiltä haluttiin, mitä luovia ratkaisuja niiden kanssa tehtiin, miten ne luotiin, ja mitä ongelmia niiden luomisessa havaittiin.</p> <p>Lopuksi arvioitiin efektien lopputulosta ja työkäytännön tehokkuutta. Keskeisiä efektien luomisen aikana tulleita ongelmia analysoitiin, ja mietittiin opinnäytetyön kaltaisten yhden hengen projektien sovellettavuutta resurssien ollessa rajallisia.</p>		
Asiasanat 3D, Grafiikka, Blender, Mallinnus, Simulaatio, Renderöinti		

Abstract

Author(s) Keränen, Viljami	Type of Publication Thesis, UAS	Published 2021
	Number of Pages 36	
Title of Publication Creating 3D effects in Blender		
Name of Degree Information and communication technology (UAS)		
Name, title and organization of the supervising teacher Ismo Jakonen, Senior Lecturer, Information and communication technology		
Name, title and organization of the client Jani Wallenius, entrepreneur, Promedia Finland		
Abstract <p>The goal of the thesis was to create visual 3D effects with Blender. Two effects were created, with the aim of them being of sufficient quality to be potentially used in a documentary by a Lahti-based commercial film company Promedia. One of the effects created was a waving flag effect, and the other was a cinematic text animation. The key was to learn which features of Blender should be used to achieve the best result.</p> <p>The theoretical section of the work covered the use of 3D graphics in general, composition techniques and the features of Blender. The main features of Blender that were addressed were 3D modeling, materials, lighting, simulations, and rendering.</p> <p>In the practical section, the process of creating both 3D effects was explained. This consisted of the objectives for the effects, the creative solutions made with them, the creation process itself, and the problems observed during the creation of the effects.</p> <p>To conclude, the outcome of the effects and the effectiveness of the work practice were evaluated. The main problems encountered during the creation of the effects were analyzed, and the applicability of resource-limited one-person projects such as the thesis was reviewed.</p>		
Keywords 3D, Graphics, Blender, Modeling, Simulation, Rendering		

Sisällys

1	Johdanto.....	1
2	3D-grafiikan käyttö.....	2
2.1	Käyttötarkoitukset	2
2.2	Sommittelu	3
3	Blenderin 3D-ympäristö	6
3.1	3D-tila ja kappaleet.....	6
3.2	Materiaalit ja valaistus	9
3.3	Muokkaimet	12
3.4	Animointi.....	12
3.5	Renderöinti	13
4	Case: Lippusimulaatio.....	16
4.1	Tavoitteet.....	16
4.2	Mallintaminen	16
4.3	Simulaatio.....	18
4.4	Materiaalit ja valaistus	20
4.5	Renderöinti	24
5	Case: Tekstiefekti	27
5.1	Tavoitteet.....	27
5.2	Mallintaminen	27
5.3	Materiaalit ja valaistus	28
5.4	Animointi.....	30
5.5	Renderöinti	30
6	Yhteenveto	32
	Lähteet	34

1 Johdanto

3D-grafiikalla tarkoitetaan tietokoneella luotua grafiikkaa, jossa luodaan illuusio kolmiulotteisuudesta. 3D-grafiikan luontia kutsutaan yleisesti 3D-mallinnukseksi, jossa objektit luodaan 3D-mallinnusohjelman kolmiulotteisessa ympäristössä. Tietokone laskee objektien varjot, valaistuksen ja muodot. 3D-ohjelmat mahdollistavat reaaliaikaisen vuorovaikutuksen objektien kanssa, jolloin objektit voidaan nähdä monista eri näkökulmista. Termillä 3D-efekti opinnäytetyössä viitataan visuaaliseen tehosteeseen, joka on luotu 3D-mallinnusteknologiaa hyödyntämällä.

Ensimmäiset 3D-grafiikat luotiin 1960-luvulla käyttämällä vektoritekniologiaa. Vektorit mahdollistivat 3D-grafiikan luomisen käyttäen matemaattisia kaavoja, jotka laskivat kunkin pikselin sijainnin 3D-kuvassa. Suuren läpimurron sai aikaan Ivan Sutherland vuonna 1963, joka esitteli Sketchpadin. Sketchpadin avulla huomattiin, että tietokoneita voi insinöörien lisäksi käyttää myös eri suunnittelijat ja mahdollisesti taiteilijat.

3D-grafiikan kehittyessä ja sen noustessa suosioon sitä alettiin käyttää taidemaailmassa eri käyttötarkoituksiin. 3D-kuvat animoitiin ja CGI-animaatiota (Computer Generated Imagery) alettiin käyttää laajasti. Ensimmäinen täysin tietokoneanimaatiolla toteutettu elokuva oli vuonna 1995 ilmestynyt *Toy Story*. Tänä päivänä länsimaiset animaatioelokuvat ovat suurimmaksi osaksi toteutettu 3D-animaatiolla. 3D-grafiikka tarjosi erilaista lähestymistapaa verrattuna 2D-grafiikkaan, vieden kuvitusta lähemmäksi todellisuutta. Vaikka ensimmäisistä 3D-kuvista näki selvästi, että ne oli luotu tietokoneella, nykyään 3D-grafiikat voi visuaalisuudeltaan vastata lähes tosielämää.

3D-animaatiota- ja mallinnusta käytetään myös esimerkiksi mainoksissa, koulutuksessa, videopeleissä ja havainnollistamisessa. Suosittuja 3D-ohjelmia ovat esimerkiksi Autodesk Maya, Autodesk 3D Studio Max, Cinema 4D ja Blender.

Opinnäytetyön tavoitteena on luoda 3D-efektejä Blender-ohjelmalla. Efektejä luodaan kaksi, joista yksi on lippusimulaatio ja toinen elokuvallinen tekstiefekti. Efektit tehdään lahteilaiselle Promedia-mainoselokuvayhtiölle, ja niiden tulisi olla tarpeeksi laadukkaita, jotta niitä voidaan käyttää dokumenttielokuvassa. On kuitenkin otettava huomioon, että projekti toteutetaan ilmaisohjelmistolla, joten odotuksia ei tule laittaa liian korkealle. Huomioon tulee myös ottaa työpisteen rajoitettu tehokkuus. Mitä yksityiskohtaisempi efektistä halutaan, sitä enemmän se vie tietokoneelta resursseja.

Blender valittiin projektin työkaluksi, koska ilmaisohjelmaksi se on kyvykäs, ja sen käytöstä on aikaisempaa kokemusta. Efektien luomiseksi tulee selvittää millä Blenderin ominaisuuksilla saadaan aikaiseksi paras lopputulos.

2 3D-grafiikan käyttö

2.1 Käyttötarkoitukset

Tietokonegrafiikasta on tullut tärkeä työkalu nykypäivän liiketaloudessa. Tietokonegrafiikka voi hyödyntää oikeastaan mihin tahansa, mutta sitä käytetään eniten muun muassa videopeleissä, visuaalisissa efekteissä, animoiduissa elokuvissa, CAD-suunnittelussa, simulaatioissa, lääketieteellisessä kuvituksessa ja informaation visualisoinnissa (Marschner & Shirley 2016, 18–19). 3D-grafiikka mahdollistaa myös uusia vuorovaikutuksen tapoja, kuten virtuaalitodellisuuden tai huoneen kokoiset piirtonäytöt. Ensimmäinen visuaalinen vaikutelma on voimakas, ja visuaalinen viestintä on uskomattoman nopeaa, mikä tekee 3D-grafiikasta tehokkaan työkalun. Tietokonepohjaisten laitteiden valmistuskustannukset myös vähenevät nopeasti. (Hughes, Van Dam, McGuire, Sklar, Foley, Feiner, Akeley 2014, 56).

3D-grafiikkaa käytetään paljon myös kuvaamaan asioita, jotka olisi aiemmin kuvattu perinteisimmillä keinoilla. Joustavuus ja kyky skaalata kaikissa digitaalisissa laitteissa ja alustoissa antaa sille edun, johon perinteiset valokuvaukset ja vanhentuneet sisällöntuotantomenetelmät eivät pysty. Esimerkiksi tietokonegrafiikalla luotuja mainoksia voidaan jatkuvasti parantaa tekemällä muutoksia esineiden muotoihin ja väreihin. Valaistusta ja materiaaleja voidaan muuttaa tarpeen mukaan. Perinteiset kuvausmenetelmät eivät ole yhtä joustavia, koska muutoksia on vaikeaa tehdä jälkikäteen. Kuvan ottamisen jälkeen ainoa keino muokata lopputulosta on kuvanmuokkaus, joka voi olla vaivalloista. Tämän lisäksi joitain efektejä voi olla lähes mahdotonta luoda kuvaamalla fyysisiä esineitä. Esimerkiksi jotkut elokuvien efektit voivat olla käytännössä mahdottomia tai liian vaarallisia toteuttaa ilman visuaalisia efektejä (Okun & Zwerman 2010, 29–30). 3D-grafiikka antaa visuaalisille artisteille lisää luovaa vapautta, koska tietokoneet antavat enemmän keinoja visualisoida minkä tahansa konseptin tai idean. Näin yritykset pystyvät myös visualisoimaan uusia innovatiivisia konsepteja nopeasti, mikä on tärkeää nykypäivän taloudessa (Ross 2017).

Tietokonegrafiikka antaa yrityksille mahdollisuuden tuottaa markkinointimateriaaleja tuotekehityksen aikaisemmassa vaiheessa kuin aikaisemmin on ollut mahdollista. Fyysisiä valokuvattavia tuotteita ei tarvitse olla olemassa, koska ne voidaan luoda digitaalisesti. Se voi myös lyhentää myyntisykliä, mikä antaa pienille ja aloitteleville yrityksille mahdollisuuden saada tuotteitaan markkinoille aikaisemmin. Varsinkin pienten ja keskisuurten yritysten on tuotettava suosiota ja saavutettava näkyvyyttä ennen tuotteidensa olemassaoloa selviytyäkseen maailmassa, jota hallitsevat suuret tuotemerkit ja monikansalliset ryhmittymät. (Ross 2017.)

Kaiken edellä mainitun lisäksi 3D-grafiikan käyttö voi olla halvempaa verrattuna fyysiseen tuotantoon. Ei ole tarvetta matkustaa tiettyyn paikkaan tiettyyn aikaan, samalla kuljettaen mukana kaikkia tarvittavia välineitä. Valokuvauksen mennessä pieleen sitä ei tarvitse tehdä uudelleen. Ei myöskään tarvitse huolehtia ulkoisista tekijöistä kuten säästä tai muista fyysisistä rajoitteista. Elokuvien erikoistehosteissa ei tarvitse käyttää kalliita pienoismalleja tai palkata ylimääräisiä työntekijöitä esittämään väkijoukkoja (McDonald 2020).

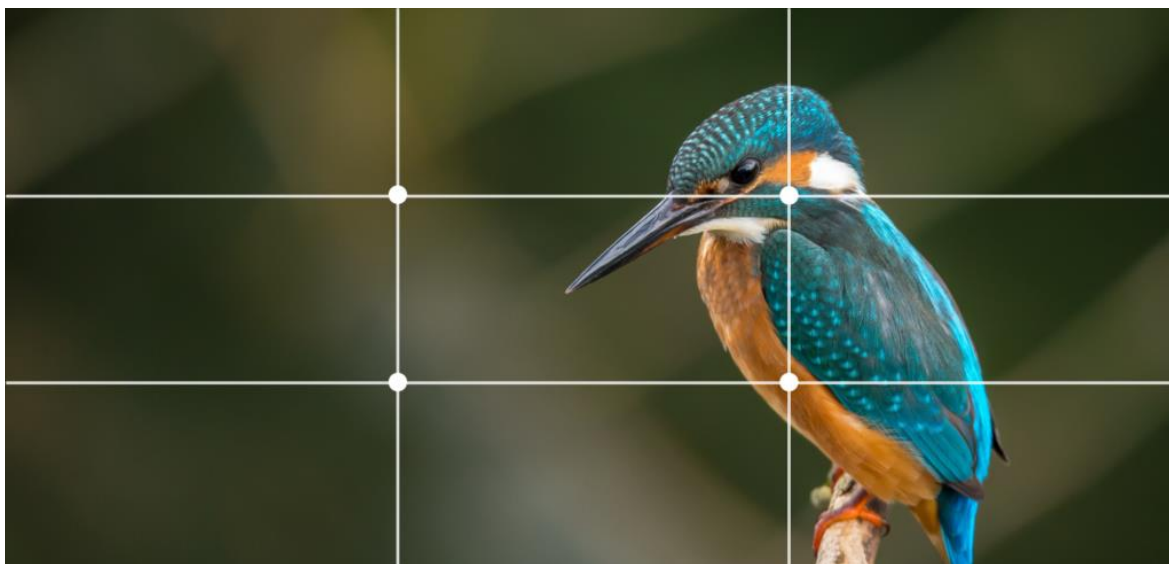
Tietokonegrafiikan käyttö voi kuitenkin koitua kalliiksi. Teknologian hyödyntäminen luonnollisesti vaatii tietokoneita, joiden tarvitsee olla hyvin suorituskykyisiä. Tämän lisäksi ohjelmistot voivat maksaa paljon. Isoissa produktioissa voi työskennellä suuri määrä alan ammattilaisia, jotka tarvitsevat omat työskentelylaitteet. Hollywood-elokuvien vakuuttavat ja realistiset erikoistehosteet voivat maksaa kymmeniä miljoonia dollareita (Statista 2021).

Opinnäytetyössä luotavat 3D-efektit ovat hyviä esimerkkejä kohtuullisen helppoista 3D-efekteistä, jotka eivät koidu kalliiksi, ja jotka eivät tarvitse vuosien ammattitaitoa toteuttaakseen. Tästä syystä ne sopivat yhden hengen projektiksi opiskelijalle tai pienyrityksille. Opinnäytetyössä luotava 3D-tekstiefekti on myös hyvä esimerkki siitä, kuinka tietokonegrafiikka mahdollistaa abstraktien konseptien toteuttamisen.

2.2 Sommittelu

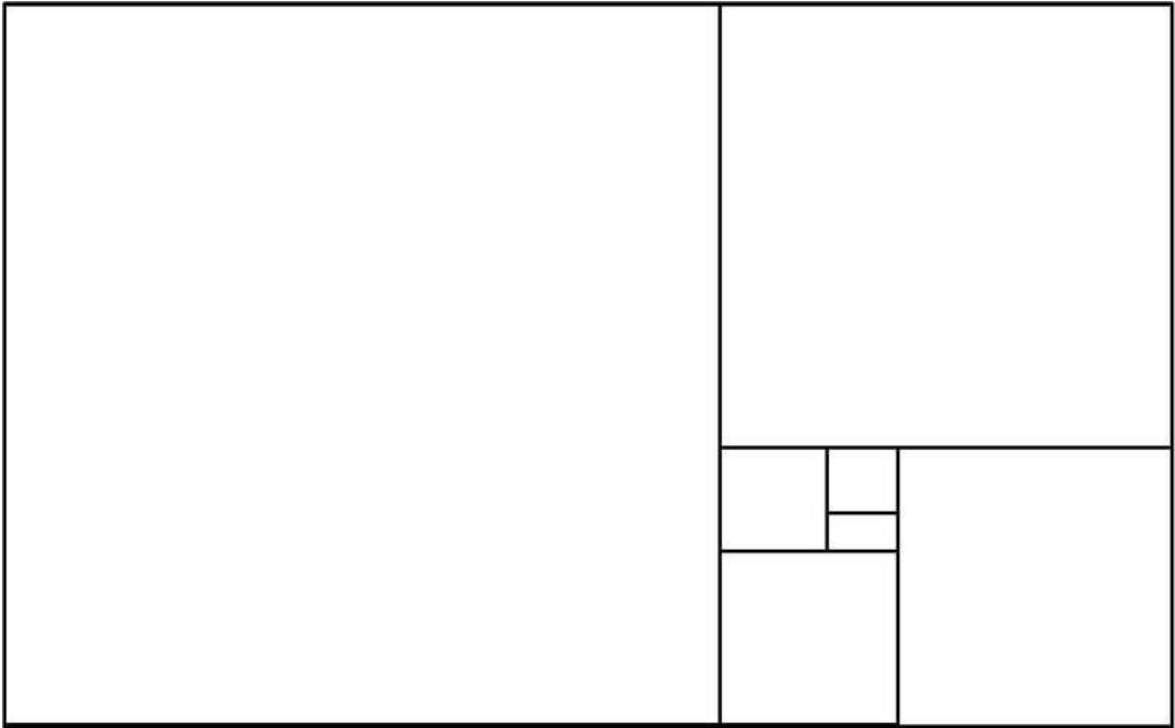
Clark (2011, 26–28) sanoo hyvän ja keskinkertaisen valokuvauksen eron olevan sommittelu. Termi sommittelu tai kompositio viittaa siihen, miten kuvan eri osat yhdistyvät luoden harmonisen kokonaisuuden. Kuvassa olevat elementit ovat automaattisesti suhteessa toisiinsa. Tapa, jolla kuvaaja paljastaa kuvassa olevien elementtien suhteet, luovat sommittelun. Clarkin mielestä valokuvauksessa ei voi päästä pitkälle ilman ymmärrystä onnistuneista sommitteluista. (Clark 2011, 26–28.) Hockmanin (2013, 6) mielestä sommittelu on hyvän valokuvauksen perusta. Valokuva voi olla oikein valaistu ja sisältää hyvän aiheen, mutta jos sen koostumus ei ole hyvä, sitä ei koskaan pidetä muuna kuin amatöörikuvana. (Hockman 2013, 6.) Vaikka opinnäytetyössä ei juurikaan hyödynnetä perinteistä valokuvausta, sen ideat on hyvä pitää mielessä tietokonegrafiikkaa toteuttaessa. Sommittelu on tärkeää, oli kyseessä sitten elävä kuva tai digitaalinen kuva. Seuraavaksi on esitelty sommittelun eri tekniikoita.

Kolmannesten sääntö on tekniikka, jossa kuva jaetaan kolmanneksiin, eli ruudukkoon, joka koostuu yhdeksästä samankokoisesta suorakulmiosta. Kun kuvattava kohde asetetaan yhdelle viivojen leikkauspisteistä, valokuvasta saadaan houkuttelevamman näköinen. Hockmanin (2013, 9) mukaan kyse on arvattavuudesta. Kohteen sijoittaminen keskelle valokuvaa voi saada kuvan näyttämään tylsältä, koska kyseinen kehystystapa on ennustettavissa, jolloin kuva ei luo visuaalista jännitystä. Liikuttamalla kohteen yhteen kolmannesten ruudun leikkauspisteisiin, valokuvasta saadaan arvaamattomampi ja samalla kiinnostavampi katsojan silmissä. (Hockman 2013, 8–9.) Näitä leikkauspisteitä kutsutaan myös ensisijaisiksi pisteiksi tai kultaisiksi pisteiksi (Clark 2011, 70). Esimerkiksi henkilökuivissa toinen ylemmistä pisteistä asetetaan usein henkilön kasvojen kohdalle. Kuvassa 1 on esitetty esimerkki kolmannesten säännön käytöstä.



Kuva 1. Kolmannesten sääntö (Van Zalinge 2015)

Kultainen leikkaus tai kultainen suhde on matemaattinen kaava, jonka laati matemaatikko Pythagoras vuonna 530 eaa. Sitä edisti muun muassa renessanssiajan taidemaalari ja keksijä Leonardo da Vinci. Tämä kultainen suhde on 1,61803 ja kun sitä käytetään jakamaan jana, tuloksena oleva osuus jatkaa itseään ikuisesti (kuva 2). Sawickin (2011, 27) mukaan tämä piirre tekee kultaisesta leikkauksesta erityisen: se jäljittelee luonnollisesti tapahtuvia mittasuhteita.



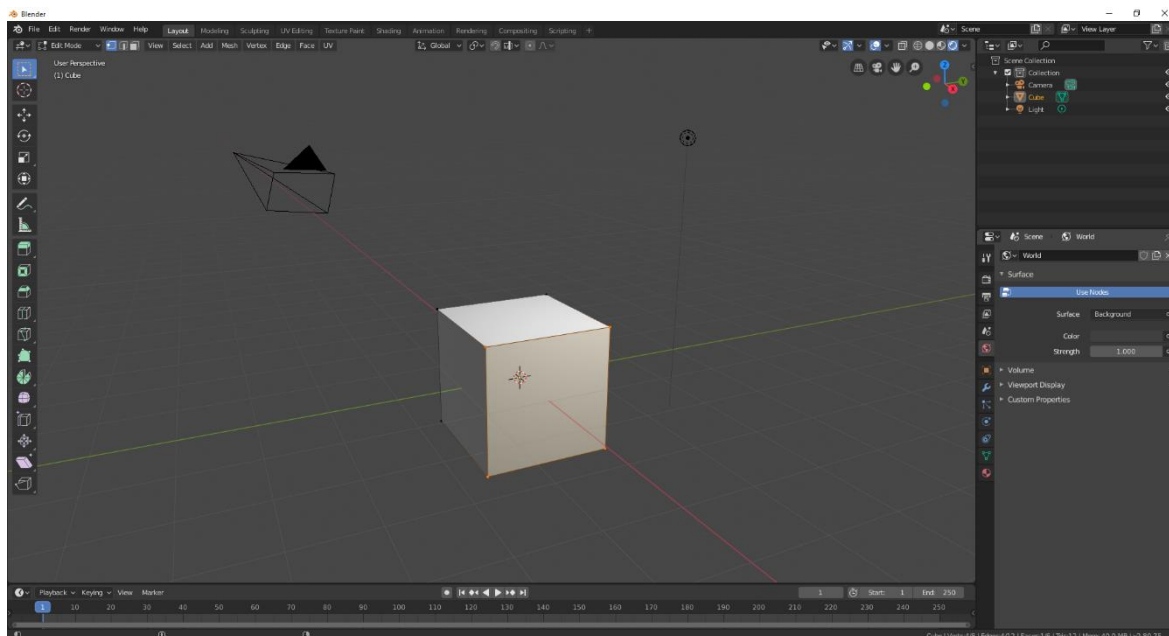
Kuva 2. Kultainen leikkaus (Canva 2021)

3 Blenderin 3D-ympäristö

3.1 3D-tila ja kappaleet

Opinnäytetyössä käytettävä Blender on ilmainen vapaanlähdekoodin 3D-ohjelma. Siitä on tullut suosittu harrastelijoiden, yksittäisten kehittäjien ja myös suurempien studioiden keskuudessa. Vaikka useimmilla 3D-ohjelmilla on lähes samat työkalut, Blender on tunnettu intuitiivisesta mallintamisesta ja työnkulusta, ja sitä pidetään kyvykkäänä kilpailijana maksullisille 3D-ohjelmille. Blender sisältää kaikki 3D-ohjelmalle tärkeimmät ja oleelliset ominaisuudet, kuten teksturoinnin, animoinnin ja riggaamisen. (Pluralsight 2015; Educba 2020.)

3D-tila on Blenderin vakionäkymä, jossa voidaan käsitellä eri elementtejä. Tilassa kaikki nähdään reaaliajassa ja siinä voidaan luoda esimerkiksi 3D-malleja, kameroita ja valonlähteitä. Tilassa voidaan liikkua objektien ympärillä tai katsoa niitä suoraan tietystä kuvakulmasta. Perspektiivin voi myös vaihtaa ortografiseen näkymään, jolloin ohjelma näyttää kappaleet ilman realistista syvyyttä. 3D-tilassa objekteja voi esimerkiksi liikuttaa, pyörittää ja skaalata. Kuvassa 3 on Blenderin 3D-tila, jossa on kuutio, kamera ja valonlähde. Seuraavaksi on lueteltu Blenderin objektityyppejä.



Kuva 3. Blenderin aloitusnäky

Mesh

Blenderissä 3D-mallit ovat ”meshejä”, joka suoraan suomennettuna tarkoittaa verkkoa. Meshit koostuvat pisteistä (vertex), reunoista (edge) ja pinnoista (face) (Van Gumster

2015, 129). Pisteiden välille muodostuu reunoja, ja reunojen välille muodostuu pintoja. Mitä tahansa näistä kolmesta elementistä voi liikuttaa, jolloin kappaleen muotoa voidaan muuttaa.

Primitiivit (Primitive) ovat Blenderissä valmiina olevia meshejä, joihin lukeutuu esimerkiksi kuutio, pallo, taso ja sylinteri. 3D-mallintamisen voi aloittaa lisäämällä primitiivi-meshin 3D-tilaan. (Blender 2020a.)

Kurvi

Kurvit ovat matemaattisesti määriteltyjä objekteja, jotka koostuvat ohjauspisteistä. Erona mesheihin on se, että kurvit eivät liity pisteestä toiseen lineaarisesti vaan kaarevasti. Ohjaukskahvoilla voidaan muokata kurvin kaarevuutta. (Blender 2020b.)

Tyhjä

Tyhjät objektit ovat yksittäisiä koordinaattipisteitä ilman geometriaa. Ne ovat hyödyllisiä muiden esineiden sijainnin tai liikkeen hallitsemiseksi. 3D-tilassa tyhjät objektit voidaan näyttää esimerkiksi akselina, kuutona, nuolena tai ympyränä. (Van Gumster 2015, 340–341.)

Valo

Valot ovat tyhjiä objekteja, joita käytetään näkymän valaisemiseen. Valonlähteiden eri tyypeillä on universaaleja asetuksia kuten voimakkuus ja väri, mutta niillä on toiminnallisia eroavaisuuksia. (Blain 2017, 213; Blender 2020c.) Seuraavaksi on lueteltu valonlähteiden eri tyypit:

- Pistevalo (Point Light) on valo, joka säteilee yhtä paljon valoa joka suuntaan.
- Valokeila (Spot Light) on valo, joka lähettää kartion muotoisen valonsäteen kartion kärjestä tiettyyn suuntaan. Kartion kokoa ja sen reunan pehmeyttä voi muuttaa. (Blain 2017, 213; Blender 2020c.)
- Aluevalo (Area Light) simuloi valoa, joka on peräisin valoa tuottavasta pinnasta, kuten TV-ruudusta tai ikkunasta. Aluevalon eri muotoja ovat suorakulmio, neliö, ympyrä ja ellipsi. (Blain 2017, 213; Blender 2020c.)
- Aurinko (Sun) on valo, joka nimensä mukaisesti simuloi auringonvaloa. Aurinko ei muiden valojen tapaan luo valoa itse objektista, vaan valo tulee loputtoman kaukaa taustalta. Auringon kulmaa voi vaihtaa päivänajan muuttamiseksi. (Blain 2017, 213; Blender 2020c.)

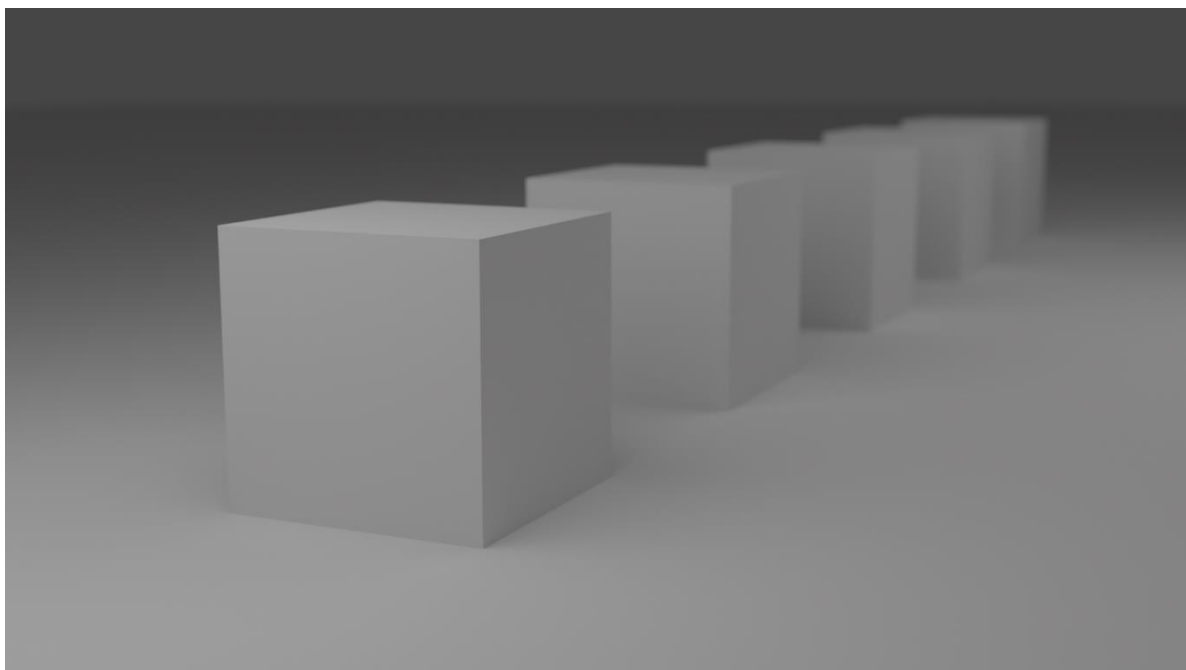
Kamera

Kamera on objekti, joka tarjoaa keinon kuvan tai videon ulosviemiseen Blenderistä. Kun halutaan rajata näkymä ja kuvata se tietyistä kuvakulmasta, käytetään kameraa.

Kameralla on kolme eri tyyppiä, jotka ovat perspektiivi, ortografinen ja panoraama. Perspektiivi asetus vastaa sitä, miten asiat nähdään todellisuudessa. Kaukana olevat asiat näyttävät pienemmiltä kuin lähellä olevat asiat. Ortografinen asetus puolestaan näyttää kaiken ilman syvyyttä, jolloin asiat näkyvät aina todellisessa koossaan etäisyydestä riippumatta. Panoraama-asetus mahdollistaa hyvin laajakulmaisen näkymän, 360:en asteeseen asti. (Chronister 2015, 95.)

Polttoväli (Focal Length) määrittää zoomauksen määrän, eli sen kuinka paljon näkymästä näkyy kerralla. Mitä suurempi polttoväli, sitä suurempi zoomaus. Asetuksen yksikkönä voi käyttää millimetrejä tai asteita. (Blender 2020d.)

Syväterävyys (Depth of Field) määrittää kuinka sumennettuja kameran kohdistusalueen ulkopuolella olevat objektit ovat. Todelliset kameralat lähettävät valoa linssin läpi, joka taipuu ja kohdistaa sen anturiin. Tämän vuoksi tietyn etäisyyden päässä olevat kohteet ovat tarkennuksessa, mutta edessä ja takana olevat kohteet ovat epätarkkoja. F-stop-asetuksella määritetään sumennuksen määrä. Pienet f-stop arvot antavat vahvan syväterävyyden vaikutuksen. (Blender 2020d.) Alla olevassa kuvassa (kuva 4) on esitetty syvyysterävyyden vaikutus f-stop arvolla 0,3.



Kuva 4. Syvyysterävyyden vaikutus

Voimakenttä

Voimakentät ovat tyhjiä objekteja, joilla voidaan vaikuttaa simulaatioihin. Niillä voidaan liikuttaa esimerkiksi ilmassa leijuvia hiukkasia, ja mitä tahansa muita objekteja, joille on otettu käyttöön painovoima. Voimankentän eri tyyppejä ovat esimerkiksi tuuli, pyörre ja turbulenssi. Voimakenttien eri tyypeillä on niille uniikkeja asetuksia, mutta niillä on myös yhteisiä asetuksia:

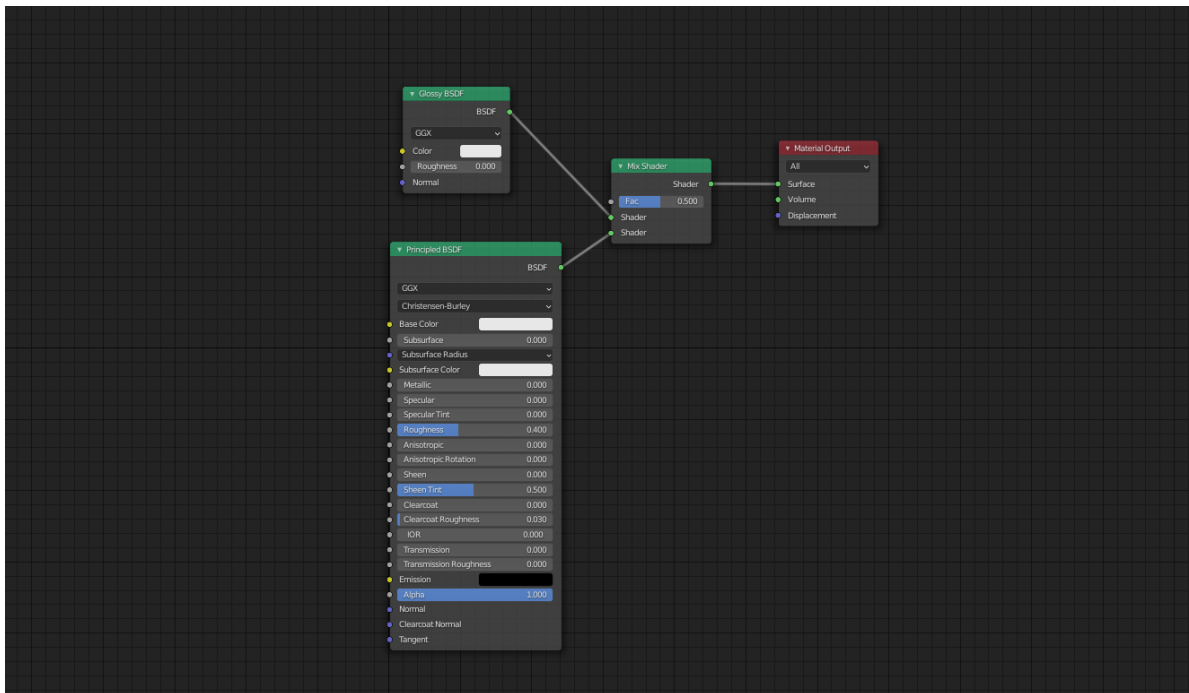
- Voimakentän muodolla (Shape) voidaan määrittää minkä muotoisesta objektista voima generoidaan. Muotoja ovat taso (Plane), piste (Point) ja linja (Line). (Blender 2020e.)
- Voima-asetuksella (Strength) voidaan muuttaa, kuinka vahva kentän vaikutus on. Asettamalla asetuksen negatiiviseksi voidaan vaihtaa kentän vaikutussuuntaa. (Blender 2020e.)
- Wind Factor -asetus määrittää kuinka paljon voimaa pienennetään, kun se toimii pinnan suuntaisesti. Pienellä Wind Factor -arvolla voimakenttä vaikuttaa pintaan kuten kankaaseen voimakkaammin kuin suurella arvolla. (Blender 2020e.)

3.2 Materiaalit ja valaistus

Materiaalit määrittelevät kaikkien objektien ulkonäön, joilla on fyysinen olomuoto. Ne määrittelevät aineen, josta objekti on tehty, sen värin, tekstuurin ja kuinka valo vaikuttaa siihen. Materiaalit koostuvat varjostimista (shader), joiden avulla voidaan luoda monenlaisia materiaaleja, kuten muovia, lasia, metallia, kangasta, ihoa, hiuksia, savua ja tulta. (Blender 2020f.)

Uutta materiaalia luotaessa Blender käyttää oletuksena Principled BSDF -varjostinta. Principled BSDF on monipuolinen varjostin, jolla voi hallita muun muassa materiaalin väriä, kiiltoa, metallisuutta ja läpinäkyvyyttä (Blender 2020g). Useissa tapauksissa Principled BSDF -varjostin riittää yksinkertaisen materiaalin luomiseen. Muita varjostimia ovat esimerkiksi Glossy BSDF, Diffuse BSDF, Translucent BSDF, Principled Volume ja Mix Shader. Yleisesti materiaalit rakennetaan varjostimien yhdistelmillä, jotka luodaan node-verkostoilla.

Nodet ovat ”rakennuspalikoita”, joita yhdistelemällä luodaan materiaaleja (Blenderinsight 2020). Nodeja ovat esimerkiksi varjostimet, tekstuurit, vektorit ja värit (Blender 2020h). Nodet yhdistetään toisiinsa vasemmalta oikealle, ja node-verkoston viimeisenä nodena on aina ulostulo-node (Output). Alla olevassa kuvassa (kuva 5) on yhdistetty kaksi varjostinta Mix Shader -nodella.



Kuva 5. Node-editori.

Tekstuurit

Tekstuurilla tarkoitetaan materiaalin pintarakennetta, eli sitä miltä materiaali näyttää ja tuntuu. Blenderissä voi lisätä tekstureja eri nodeilla, joihin lukeutuu esimerkiksi Image Texture, Gradient Texture, Musgrave Texture ja Noise Texture. Tekstuurit yleisesti toteutetaan kuvatiedostoilla, jotka tuodaan mallinnusohjelmaan. Kuvatiedostot voi liittää mesheihin UV-kartoitustekniikalla. UV-kartoituksella (UV-mapping) tarkoitetaan kuvan ”käärimistä” 3D-objekteihin (Wikibooks 2020).

Tekstuureja käyttämällä voidaan luoda materiaaleja sekaantumatta varjostimien omiin asetuksiin. Image Texture -noden voi liittää suoraan esimerkiksi varjostimen väri-, kiiltävyys- tai metallisuusarvoihin, jolloin arvo tulee kuvatiedoston kautta.

Normaalikartoitus

Normaalikartoitus (normal mapping) tarkoittaa RGB-värikartan käyttämistä kolmiulotteisen illuusion luomiseksi kaksiulotteiselle tasolle (Wikibooks 2020). 3D-mallin geometriaan ei tarvitse lisätä yksityiskohtia, jolloin säästetään suorituskykyä. Normaalikartta käyttää RGB-tietoja, jotka vastaavat suoraan X-, Y- ja Z-akseleita 3D-tilassa. Tämä RGB-informaatio kertoo 3D-sovellukselle pinnan normaalien tarkan suunnan. Normaalikartta kertoo siis 3D-sovellukselle, kuinka 3D-mallin pinta tulisi varjostaa. (Pluralsight 2014.)

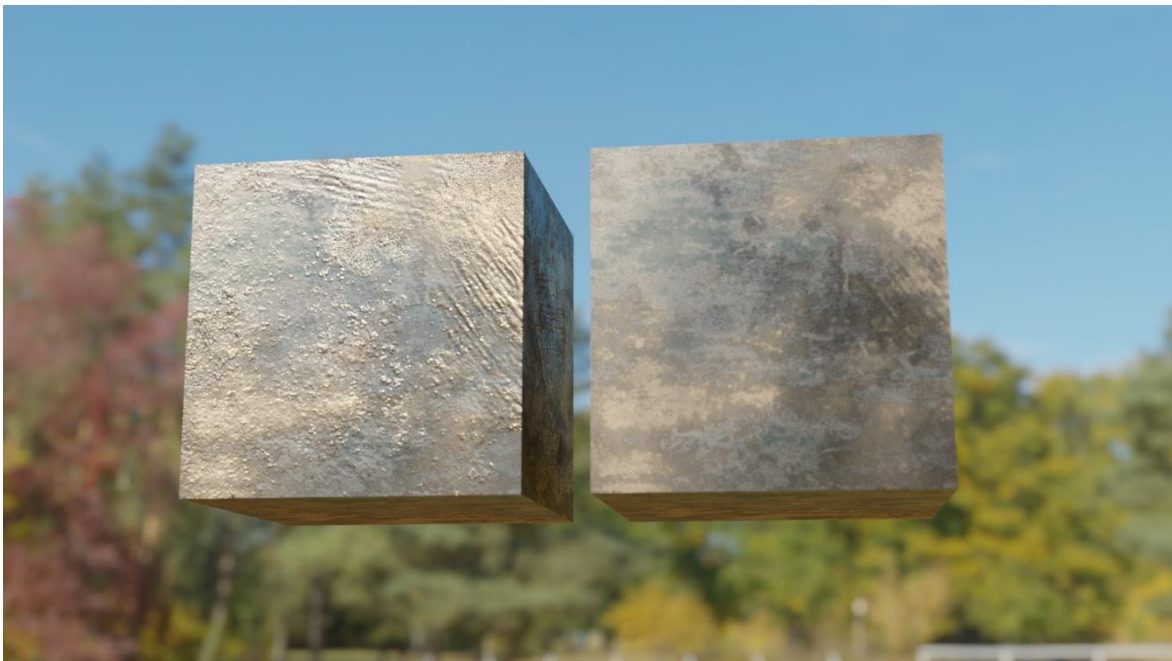
Normaalikartta voidaan luoda Blenderissä mesheissä olevista yksityiskohdista, tai se voidaan luoda ohjelmilla kuten Adobe Photoshop. Photoshopissa normaalikartta voidaan generoida mistä tahansa kuvatiedostosta.

Blenderissä normaalikartta voidaan lisätä materiaaliin liittämällä Normal Map -node halutun varjostimen normal-arvoon. Normal Map -nodeen voi liittää itse normaalikarttatiedoston Image Texture -nodella. Normal Map -nodessa olevalla Strength-arvolla voidaan muuttaa normaalikartan vahvuutta.

HDRI

HDRI (High Dynamic Range Image) on kuvamuoto, joka sisältää enemmän dataa pikseliä kohden kuin tavanomainen kuvamuoto. Kuvamuodot kuten JPG ja PNG sisältävät 8 bittiä pikseliä kohden, kun taas HDR-kuvat voivat sisältää esimerkiksi 32 bittiä. (HDRIHaven 2020.) Suuremman datan määrän vuoksi HDR-kuvia voi käyttää 3D-sovelluksissa valaistukseen. HDR-kuva asetetaan 3D-tilan taustalle, jolloin valaistus tulee kuvan kautta. Näin valaistuksesta saadaan luonnollisempi.

Kuvassa 6 on esitetty miltä sama materiaali näyttää ilman normaalikarttaa ja sen kanssa. Vasemmanpuoleisessa kuutiossa on käytetty normaalikarttaa ja oikeanpuoleisessa ei. Pelkällä normaalikartalla materiaaliin saadaan paljon yksityiskohtia. Näkymän valaistus on toteutettu HDR-kuvalla.



Kuva 6. Normaalikartta ja HDRI

3.3 Muokkaimet

Muokkaimet (Modifier) ovat automaattisia toimintoja, jotka vaikuttavat objektin muotoon. Muokkainten avulla objektin muotoa voi muuttaa tavoilla, jotka olisivat liian työläitä tehdä manuaalisesti. (Blain 2017, 296.) Vaikka muokkaimet muuttavat objektin muotoa, ne eivät välttämättä muuta itse meshien rakennetta. Ne toimivat ikään kuin filttereinä, jotka voi laittaa päälle ja pois milloin tahansa. Monta muokkainta voi lisätä samaan objektiin, muodostaen muokkainpinon. Pinon järjestys määrittää kuinka muokkaimet käyttäytyvät. Muokkaimia on neljää eri tyyppiä, jotka ovat Modify, Generate, Deform ja Physics (Blain 2017, 296–350).

Physics-muokkainten avulla voi simuloida useita erilaisia reaalimaailman fyysisiä ilmiöitä ja aineita, kuten hiuksia, sadetta, savua, vettä ja kangasta. Opinnäytetyön lippusimulaatiossa käytetään Cloth-simulaatiota, jolla voidaan simuloida kankaan käyttäytymistä. Cloth-simulaatiolla on asetuksia, joilla voi määrittää miten kangas käyttäytyy:

- Cloth-simulaatiolla on valmiita vaihtoehtoja, jotka voi valita Preset-valikosta. Näihin lukeutuu muun muassa nahka, silkki ja puuvilla. (Blender 2020i.)
- Mass-asetuksella voi määrittää kankaan massan. Massa lasketaan objektin verte-
xien lukumäärän perusteella. (Blender 2020i.)
- Stiffness-asetuksilla voi määrittää kankaan venyvyyttä ja jäykkyyttä.
- Damping-asetuksilla voi heikentää eri käyttäytymisten voimakkuutta.
- Pin Group -kenttään voi valita Vertex Groupin, joka on tietyistä pisteistä koottu ryhmä. Kankaan voi kiinnittää paikalleen Vertex Groupin pisteiden perusteella. (Blender 2020i.)

Termeillä "bake" ja "baking" tarkoitetaan laskutoimituksen tulosten välimuistiin tallentamista. Bakingin avulla simulaatio voidaan tallentaa, jotta se voidaan toistaa nopeammin. Simulaation asetuksia ei voi muuttaa ennen kuin bake poistetaan simulaatiosta. (Blender 2020j.)

3.4 Animointi

Animointi toteutetaan yleisesti avainkehyksillä (keyframe). Avainkehykset määrittävät siirtymän alkamis- tai lopetuskohdan. Avainkehysten välissä olevat kehykset interpoloidaan, luoden illuusion liikkeestä. Tietokoneanimaatiossa tietokoneen prosessori suorittaa interpoloinnin matemaattisesti. (Computer Hope 2019.)

Blenderissä on kolme interpolointimoodia, jotka ovat Constant, Linear ja Bézier. Constant-moodilla siirrytään suoraan avainkehysten arvosta toiseen, jolloin animaatio tapahtuu

välittömästi. Constant-moodi ei siis itse asiassa ole interpolaatiota, koska siirtymää ei ole. Linear-moodi luo suoraviivaisen ja robottimaisen siirtymän. Bézier-moodi on Blenderin oletusmoodi ja sillä voi luoda sulavia animaatioita muokkaamalla Bézier-kurvin kahvoja. Kaikkia animaatioita, jotka on luotu avainkehysillä voi muokata graafieditorilla, jossa animaatiot ilmaistaan kurveina. Näitä kurveja kutsutaan F-kurveiksi (F-Curve). (Blender 2020k.)

Blenderissä lähes kaikki animaatiot toteutetaan avainkehysillä, mutta esimerkiksi simulaatioissa animaatiot lasketaan objektien fyysisten arvojen ja voimakenttien avulla.

3.5 Renderöinti

Renderöinnillä (rendering) tarkoitetaan tapaa, jolla tietokonegrafiikka piirretään. Yleisesti sillä tarkoitetaan 3D-näkymän piirtämistä kaksiulotteiseksi kuva- tai videotiedostoksi, jolloin voidaan käyttää myös käsitettä ulosvienti (export, output) (Van Gumster 2015, 430). Opin- näytetyössä valmiista renderkuvasta- tai videosta käytetään käsitettä render.

Blenderissä on kolme renderöintimoottoria, jotka toimivat eri tavoilla. Eevee-moottori on reaaliaikainen renderöintimoottori, jonka tavoitteena on renderöidä fyysisiä materiaaleja nopeasti. Eeveen nopeus perustuu rasterointitekniikkaan, jossa arvioidaan valon vuorovaikutus esineiden ja materiaalien kanssa käyttämällä lukuisia algoritmeja. Nopeutensa vuoksi Eeveetä voi käyttää 3D-tilassa näkymän esikatseluun, koska se ei käytä tietokoneelta paljoa resursseja. Myös lopulliset renderöinnit ovat nopeita ja tarpeeksi korkealaatuisia moniin käyttötarkoituksiin. Rasterointitekniikan vuoksi Eeveellä on kuitenkin monia rajoituksia. (Blender 2020l.)

Cycles-moottori on säteenseurantaan perustuva renderöintimoottori. Säteenseuranta on renderöintitekniikka, jossa lasketaan jokaisen valonsäteen polku. Toisin kuin rasteroinnissa, säteenseurannassa valon vuorovaikutusta ei arvioida, vaan se lasketaan tarkasti simuloimaan tapaa, jolla valo käyttäytyy oikeasti. Säteenseuranta mahdollistaa realistisemmat varjot, heijastukset ja valon hajonnan. (Thomas & Hayward 2019.) Tekniikan haittapuolena on sen resurssi-intensiivisyys, joka tekee renderöinnistä aikaa vievän prosessin.

Workbench on renderöintimoottori, joka on optimoitu nopeaan renderöintiin mallinnuksen ja animaation esikatselun aikana. Sitä ei ole tarkoitettu lopullisten renderkuvien- tai videoiden renderöintiin. Sen ensisijainen tehtävä on nimensä mukaisesti näyttää mallinnus tai animaatio 3D-tilassa, kun sitä työestetään. (Blender 2020m.)

Blenderin 3D-tilassa voi käyttää neljää eri moodia tilan esikatseluun:

- Solid-moodi on oletusnäkyvä, joka käyttää Workbench-renderöintimoottoria. Solid-moodissa ei näytetä materiaaleja, vaan oletuksena meshit näytetään harmaina. Myöskään valonlähteet eivät loista valoa. (Blender 2020n.)
- Wireframe-moodissa kaikista objekteista näytetään pelkästään ääriviivat.
- Material Preview -moodi on nimensä mukaisesti materiaalien esikatselua varten, ja se käyttää Eevee-renderöintimoottoria.
- Rendered-moodi näyttää tilan käyttämällä valittua aktiivista renderöintimoottoria. (Blender 2020n.)

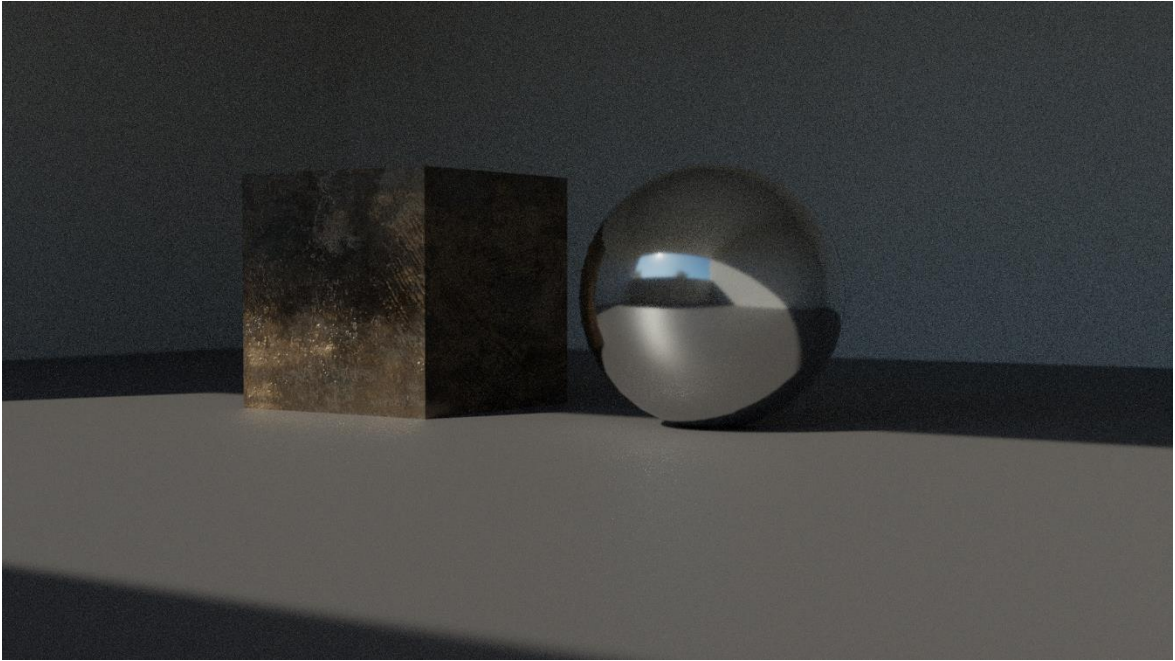
Ulosvienti

Lopullisen renderkuvan tai render-videon tekemiseksi on valittava missä muodossa render ulosviedään. Blenderissä on ohjelmille tyypillisiä ulosviennin asetuksia:

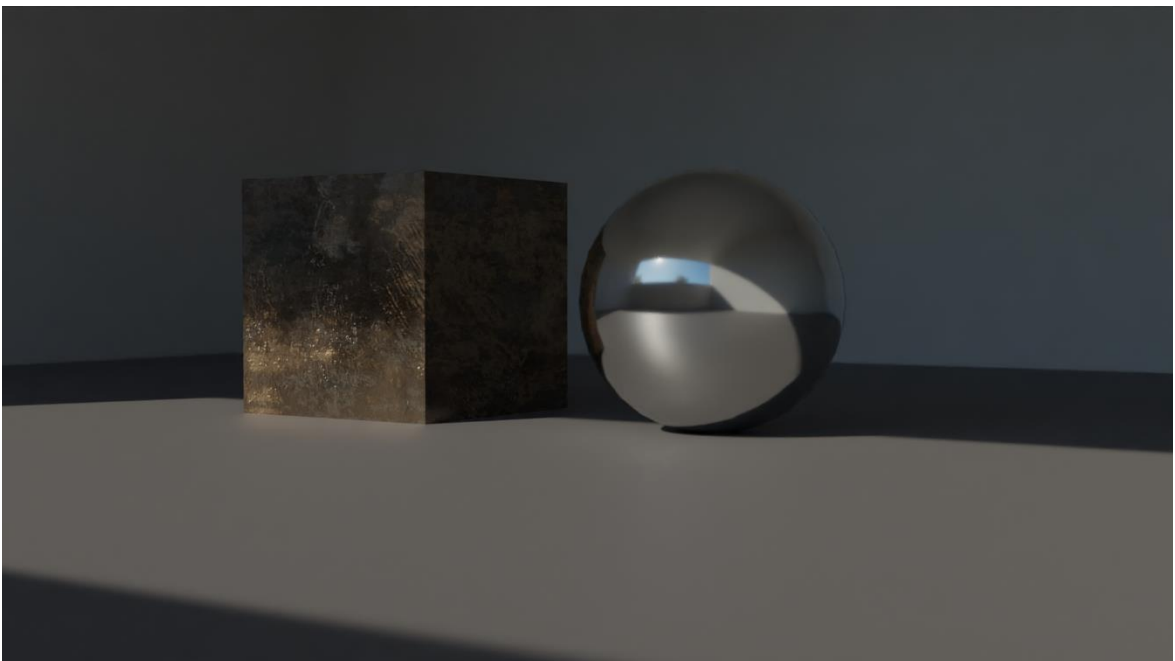
- Resoluutio (Resolution) määrittää pikselien määrän kuvassa vaaka- ja pystysuunnassa (Blain 2017, 222–223). Pikselien määrä vaikuttaa kuvan tarkkuuteen.
- Kuvataajuus (Frame Rate) määrittää, kuinka monta kuvaa animaatioissa näytetään sekunnissa (Blain 2017, 222–223). Yleisiä kuvataajuuksia ovat 24, 30 ja 60 kuvaa sekunnissa.
- Tiedostomuodolla valitaan mihin kuva- tai videomuotoon render tallennetaan. Vaihtoehtoja ovat esimerkiksi JPEG, PNG, FFmpeg Video ja AVI. (Blain 2017, 222–223.)
- Väritila määrittää, mitä väri-informaatiota render sisältää. Vaihtoehtoja ovat BW, RGB ja RGBA. (Blender 2020o.) BW sisältää pelkät harmaan sävyt, toisin sanoen kuva on mustavalkoinen. RGB sisältää punaisen, vihreän ja sinisen kanavan, joita sekoittamalla saadaan käytännössä kaikki värit. RGBA on sama kuin RGB, mutta se sisältää alpha-kanavan, joka tarkoittaa, että väritila tukee läpinäkyvyyttä.

Kohinanpoisto

Kohinanpoisto (denoising) on tekniikka, jossa suodatetaan renderöitävää kuvaa käyttämällä renderöinnin aikana kerättyä tietoa melun poistamiseksi, mutta samalla säilyttäen visuaaliset yksityiskohdat mahdollisimman hyvin. (Blender 2020p.) Blenderissä on kolme kohinanpoisto algoritmia, jotka ovat NLM, OptiX ja OpenImageDenoise. Alla olevista kuvista (kuva 7 & kuva 8) näkyy kohinanpoiston vaikutus. Kuvat renderöitiin samoilla laatuasetuksilla, mutta kuvassa 8 käytettiin OptiX-kohinanpostoa.



Kuva 7. Render ilman kohinanpoistoa



Kuva 8. Render kohinanpoistolla

4 Case: Lippusimulaatio

4.1 Tavoitteet

Tavoitteena oli luoda animaatio, joka esittää tuulessa liehuvaa suomen lippua. Lipun liehuminen toteutettiin Cloth-simulaatiolla, joka oli oleellisin osa efektiä. Itse simulaation lisäksi oikeanlaisten materiaalien ja tekstuurien käyttö oli tärkeää realistisen kuvan luomiseksi.

Opinnäytetyössä lippusimulaatiolle luotiin perusta, jota voitaisiin myöhemmin muokata. Esimerkiksi materiaalit ja valaistus pyrittiin toteuttamaan niin, että niitä voi helposti vaihtaa käyttötarkoituksen mukaan.

4.2 Mallintaminen

Ensimmäinen vaihe oli lipputangon mallinnus. Ennen tangon luomista internetistä etsittiin viitekuvia lipputangoista. Kuvien avulla havaittiin, mitä yksityiskohtia lipputangoissa yleisesti on.

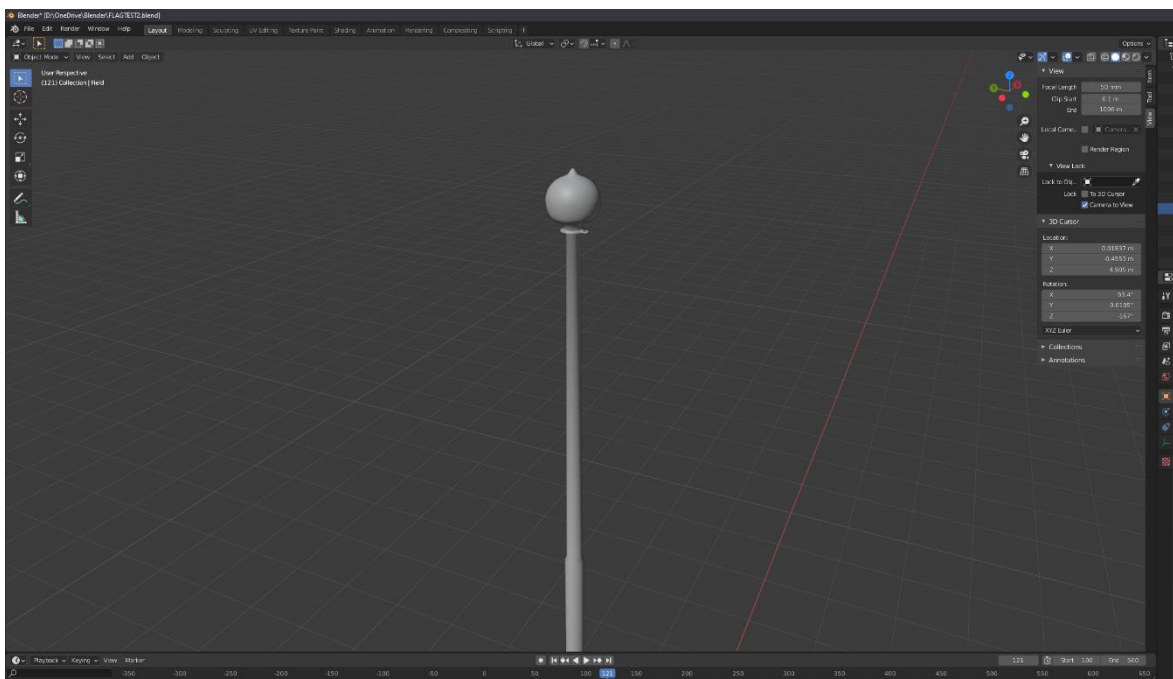
Lipputanko

Helppoin tapa aloittaa mallinnus oli lisätä 3D-tilaan mesh, joka tässä tapauksessa oli sylinteri. Koska sylinteri vastaa jo lipputangon muotoa, tarvittiin sitä vain skaalata sopivan korkeaksi. Lipputangot ovat yleisesti kapeampia latvasta kuin juuresta, joten sylinterin latvaa skaalattiin hieman kapeammaksi. Tämän lisäksi tangon yläosaan tehtiin porras, jossa tanko kapeenee. Porras tehtiin lisäämällä tankoon kaksi reunaa vierekkäin Loop Cut -työkalulla. Ylimmäistä reunaa skaalaamalla pienemmäksi tangon varteen syntyi porras.

Lipputangon päässä oleva nuppi voitiin mallintaa muutamalla eri tavalla. Yhtenä vaihtoehtona oli mallintaa nuppi osaksi tankoa. Toisena vaihtoehtona oli mallintaa nuppi erikseen, jonka jälkeen se olisi liitetty tangon päähän. Nuppi päätettiin luoda osaksi tankoa lisäämällä geometriaa tangon päähän, koska se vaikutti helpommalta vaihtoehdolta. Lisätty geometria muotoiltiin oikean muotoiseksi, kunnes lopulta tangon päähän saatiin lähes pyöreä nuppi. Nuppia täytyi vielä pyöristää, joten siihen lisättiin lisää pintoja Subdivide-komennolla, jonka jälkeen käytettiin Smooth-työkalua pintojen silottamiseksi.

Viimeiseksi tankoon täytyi lisätä kiinnike köyttä varten. Kiinnikkeen muotoilussa käytettiin enimmäkseen mielikuvitusta. Kiinnike päätettiin toteuttaa tangon varressa olevalla renkaalla, josta köysi menisi läpi. Nupin alapuolelle tehtiin ohut pinta lisäämällä tankoon kaksi reunaa päällekkäin. Syntyneestä pinnasta luotiin rengas työntämällä pintaa ulospäin Extrude-komennolla. Tämän jälkeen renkaaseen tehtiin vielä ulkoneva osa, joka toimisi itse kiinnikkeenä. Kiinnike tehtiin jälleen Extrude-komentoa käyttämällä, minkä jälkeen sen

reunoja pyöristettiin Bevel-komennolla. Kiinnikkeen läpi haluttiin tehdä reikä Boolean-muokkainta käyttämällä. Boolean-muokkaimella voi tehdä reikiä mesheihin käyttämällä toista meshiä leikkaavana objektina. Leikkaavaa objektia varten lisättiin sylinteri, joka skaalattiin halutun reiän kokoiseksi. Sylinteri asetettiin kiinnikkeen keskelle, jolloin siihen syntyi reikä. Tässä vaiheessa mallintamista huomattiin, että Boolean-muokkaimen käyttö loi ongelmia meshin rakenteen kanssa, luoden visuaalisia häiriöitä. Tästä huolimatta päätettiin jatkaa seuraavaan vaiheeseen, koska visuaaliset häiriöt eivät olleet merkityksellisiä, eikä niitä pystyisi huomaamaan lopullisessa animaatioissa. Alla olevassa kuvassa (kuva 9) on valmis lipputanko.



Kuva 9. Valmis lipputanko

Köysi

Seuraavaksi luotiin köysi, jossa lippu olisi kiinni. Köysi päätettiin luoda ympyrän muotoisen Bézier-kurvin avulla. Bézier-kurvia päätettiin käyttää, koska sen muotoilu on helpompaa meshiin verrattuna. Oletuksena kurvi näytti liian kulmikkaalta, joten sen Resolution-asetusta nostettiin kulmien pehmentämiseksi. Bézier-kurville pystyi myös helposti antaa halutun paksuuden Bevel-asetuksella. Kurvi haluttiin skaalata soikion muotoiseksi, jotta se saataisi ikään kuin roikkumaan tangon päässä olevasta kiinnikkeestä. Kun skaalaamisen jälkeen köydelle lisättiin paksuus Bevel-asetuksella, havaittiin ongelma, jossa köyden paksuus ei jakautunut tasaisesti köyden joka kohtaan. Ongelma ratkaistiin Apply Rotation & Scale -komennolla, joka tasoitti köyden paksuuden. Kun kurvi oli saatu halutun näköiseksi, se muunnettiin meshiksi simulaatiota varten käyttämällä Convert to Mesh -komentoa.

Lippu

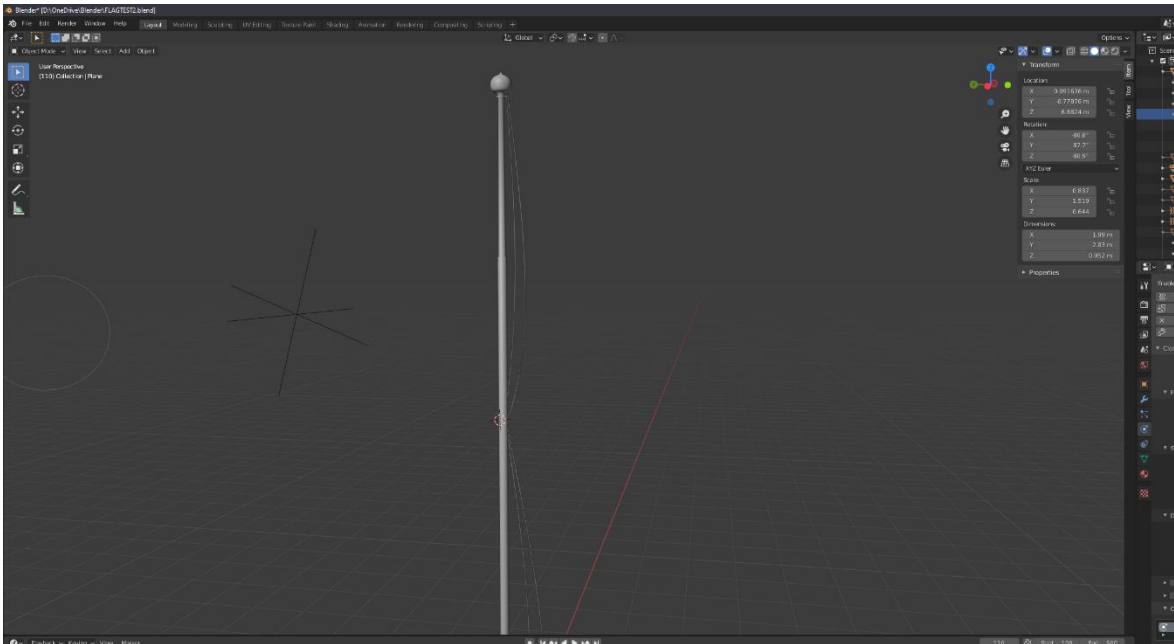
Lipun mallintaminen oli yksinkertainen prosessi, koska lippu itsessään on vain litteä taso, joka saadaan helposti Plane-primitiiviä käyttämällä. Jotta simulaatiosta saataisiin realistinen, tasolle käytettiin Subdivision-komentoa. Näin tason pinta saatiin jaettua pieniin osiin, jolloin simulaatio pystyisi laskemaan lipun taantumisen tarkasti.

4.3 Simulaatio

Simulaation luomiseksi 3D-tilaan täytyi lisätä tuuli. Tuulen luomiseksi käytettiin Wind-voimakenttää, joka asetettiin puhaltamaan sivusuunnasta. Tuulesta ei haluttu täysin tasaista, vaan siihen haluttiin hieman vaihtelua ja turbulenssia, jotta se käyttäytyisi luonnollisemmin. Realistisuuden lisäämiseksi tuulen voimakkuudesta tehtiin vaihteleva, ja Noise-asetus laitettiin suurimpaan arvoon. Turbulenssin lisäämiseksi päätettiin lisätä Turbulence-voimakenttä, joka liikkuisi hitaasti lipun vieressä.

Objekteista ensin päätettiin animoida köysi. Köyden animoimiseksi sille lisättiin Cloth-simulaatio. Jotta köysi ei putoaisi alas painovoiman seurauksena, sille täytyi lisätä Pin Group. Pin Groupin avulla köydelle voitaisiin asettaa kohtia, jossa köysi ilmenisi olevan kiinni. Köyden tuli olla kiinni tolpan päässä olevasta renkaasta ja tolpan alapäästä. Tämän lisäksi köysi haluttiin kiinnittää lipun alapuolelta, jotta köysi ei vaeltelisi liian vapaasti. Kiinnityskohtien luomiseksi köydestä valittiin pisteitä edellä mainituista kohdista, jonka jälkeen pisteistä luotiin Vertex Group. Tämän jälkeen Vertex Group voitaisiin valita Pin Group -kenttään Cloth-asetuksissa.

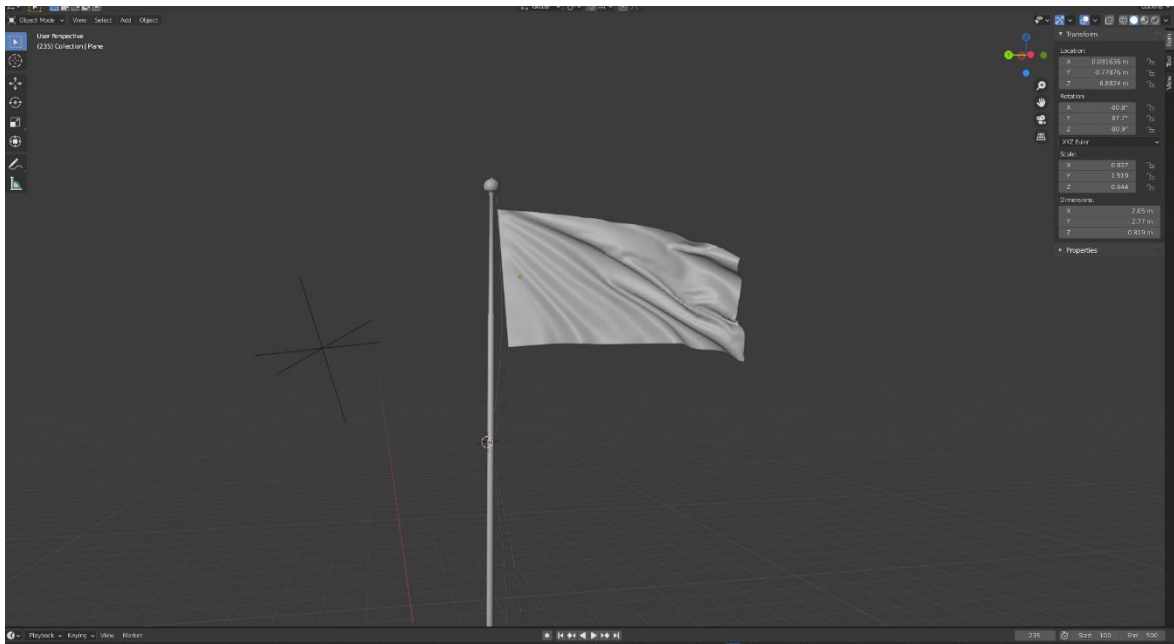
Oleellisin asia Cloth-simulaation kannalta on se, miten kangas käyttäytyy tuulessa. Köydelle valittiin Silk-preset, koska sen tuli olla mahdollisimman kevyt. Massaa laskettiin tästä vielä alemmaksi ja Stiffness-arvot asetettiin hyvin alhaisiksi. Kun köysi käyttäytyi halutulla tavalla, se voitiin bakettaa. Alla oleva kuva (kuva 10) osoittaa kuinka simulaatio toimi tässä vaiheessa projektia.



Kuva 10. Lipputanko köyden kanssa

Lipun animoimiseksi seurattiin pitkälti samoja vaiheita ja asetuksia. Jotta lippu ei taittuesaan menisi itsestään läpi, sille täytyi lisätä Self-Collisions-asetus. Lippu haluttiin kiinnittää köyteen, jotta lipun liike seuraisi köyden liikettä. Tätä varten käytettiin Vertex Parent -komentoa. Kun simulaatio pyöritettiin, huomattiin, että köysi tuli satunnaisesti hieman lipusta läpi. Lipulle yritettiin lisätä Collision-muokkain, jotta lippu voisi osua köyden kanssa ilman leikkausta. Collision-muokkaimen lisääminen kuitenkin jähdytti ohjelman täysin eikä työn jatkaminen olisi ollut mahdollista. Ratkaisuna lippua päätettiin viedä hieman köydestä irralleen, jotta leikkausta ei tapahtuisi. Tätä pientä rakoa olisi hyvin vaikea nähdä lopullisessa renderissä, joten sitä pidettiin parhaana ratkaisuna.

Lippusimulaation kenties aikaa vievin osuus oli Cloth-simulaation asetusten säätäminen. Monia eri Mass-, Stiffness- ja Damping asetuksia kokeiltiin, kunnes päädyttiin mieluisaan lopputulokseen. Kun asetuksiin tehtiin muutoksia, täytyi simulaatio bakettaa uudelleen, johon kului aikaa. Jos köyden simulaatioasetuksia haluttiin muuttaa, myös lipun simulaatio täytyi bakettaa uudelleen. Kuvassa 11 on valmis lippusimulaatio ilman materiaaleja.



Kuva 11. Valmis lippusimulaatio

4.4 Materiaalit ja valaistus

Lipun materiaalista haluttiin mahdollisimman realistinen. Tämän aikaansaamiseksi tarvittiin normaalikartat eri yksityiskohdille, kuten rypyille, taitteille, saumoille ja kankaan rakenteelle. Ensimmäiseksi kokeiltiin hakea internetistä ilmaisia ja vapaasti käytettäviä normaalikarttoja tai kuvia kankaista ja lipuista, joista voitaisiin luoda normaalikarttoja. Kankaan rakenteesta löydettiin hyvä valmis normaalikartta, jota voitiin käyttää. Muut normaalikartat päätettiin luoda Adobe Photoshop -ohjelmalla internetistä haettujen kuvien perusteella. Kun nämä normaalikartat vietiin Blenderiin ja asetettiin lippuun, huomattiin, että kuvien tarkkuus ei ollut tarpeeksi korkea, jolloin illuusio realismista kärsi. Internetistä oli vaikeaa löytää ilmaisia kuvia, jotka olisivat myös tarpeeksi tarkkoja. Tämän takia normaalikartat päätettiin tehdä kokonaan itse, käyttämällä itse otettuja kuvia. Lipun rypyjä ja taitteita varten kuvattiin lakanaa suoraan ylhäältä päin. Lakanasta otettiin monta kuvaa, joiden välissä sen taitteita muotoiltiin eri asentoihin. Saumoja varten otettiin kuvia kauluspaidasta. Kuvat otettiin matkapuhelimen kameralla, jonka koettiin olevan riittävän tarkka tähän tarkoitukseen. Kuvissa 12 ja 13 näkyy muutama niistä kuvista, jotka otettiin normaalikarttoja varten.



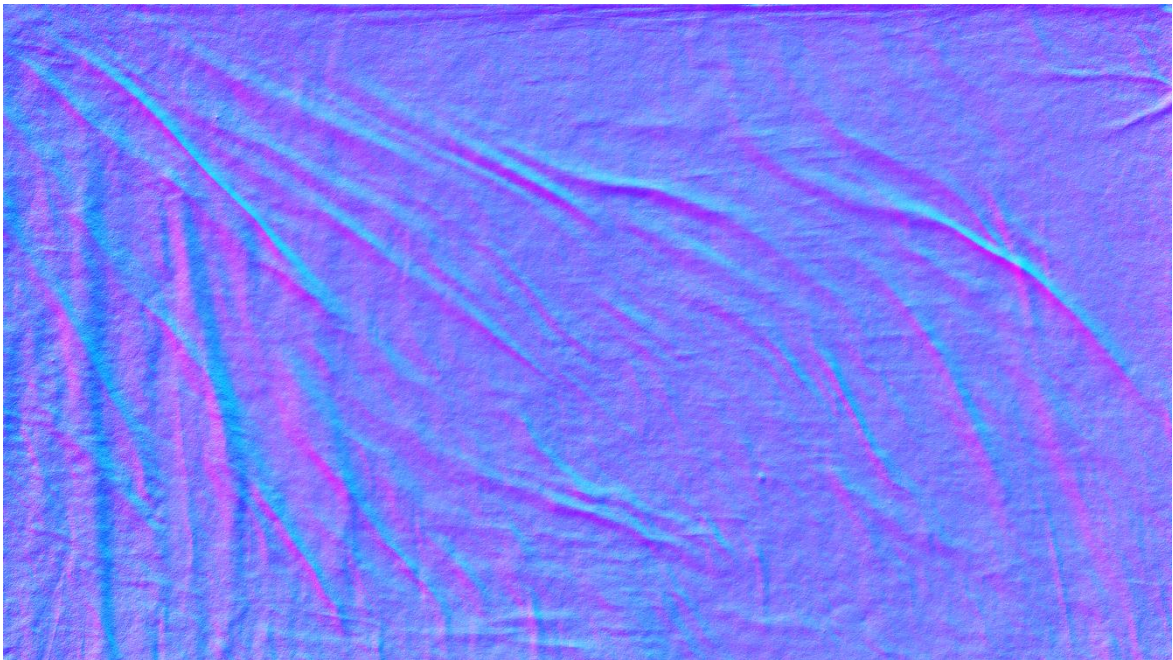
Kuva 12. Lakana



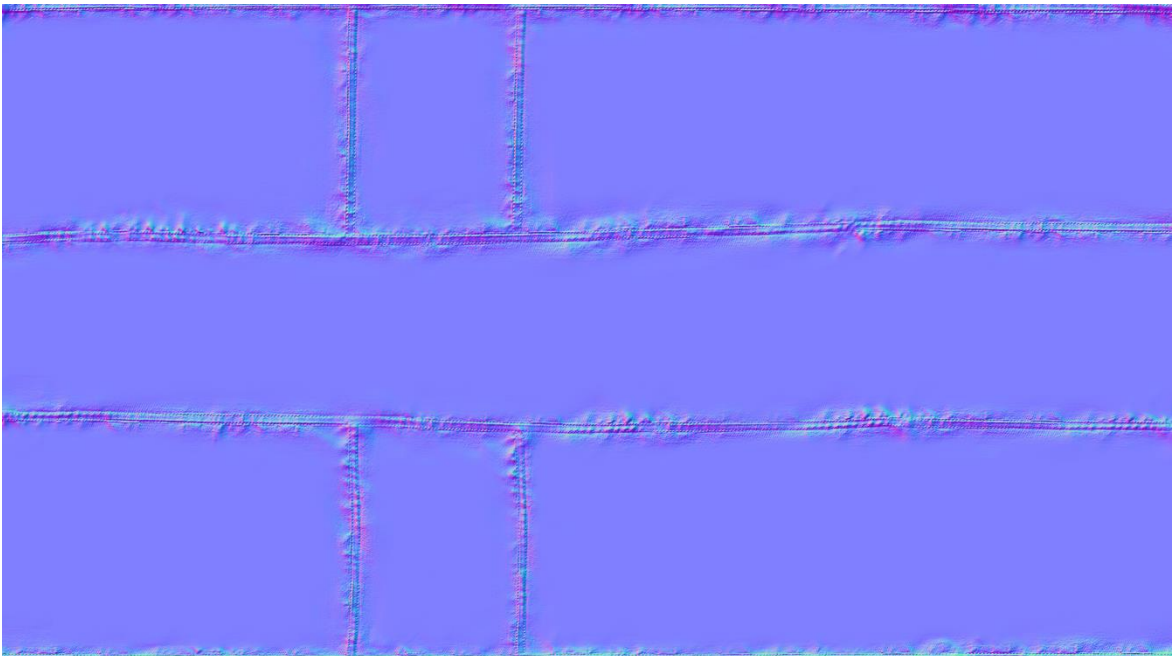
Kuva 13. Kauluspaidan sauma

Kuvat vietiin Photoshopiin, jossa niistä rakennettiin normaalikartat käyttämällä eri tekniikoita. Normaalikarttoja jouduttiin muokata monta kertaa ennen kuin oltiin tyytyväisiä. Esimerkiksi kontrastia täytyi muuttaa, jotta pinnan muoto tulisi paremmin esille. Lopuksi lipun väri piirrettiin omaan tiedostoon. Siniristi täytyi piirtää tarkasti, jotta sen reuna osui

kohdalleen lipussa olevien saumojen kanssa. Kuvissa 14 ja 15 on otetuista kuvista muodostettuja normaalikarttoja.



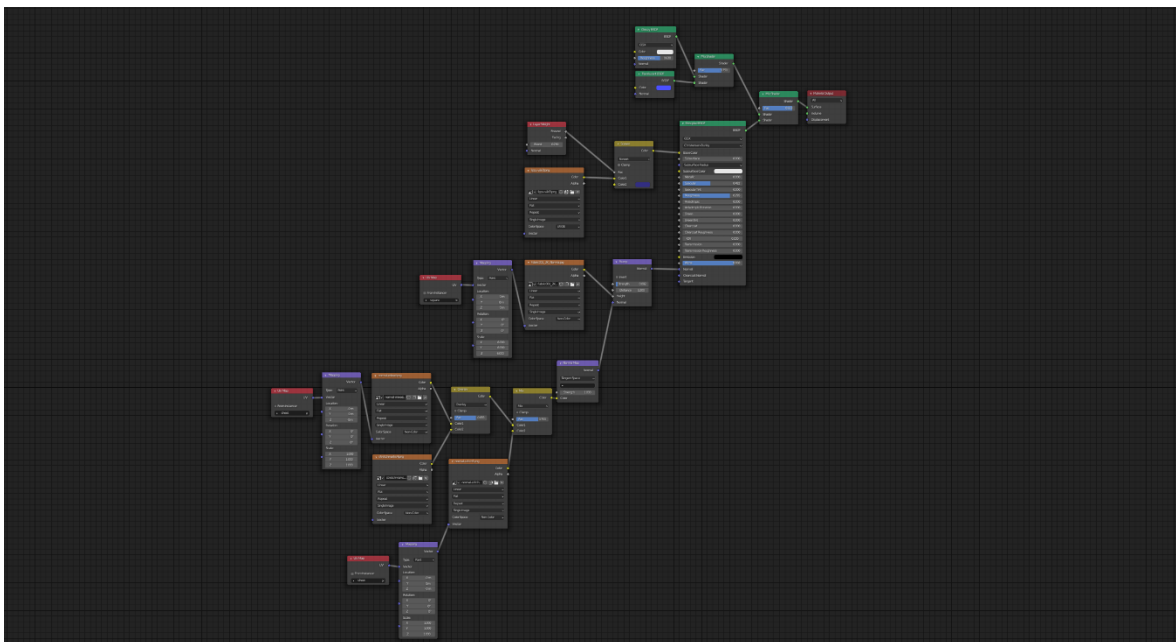
Kuva 14. Lakanoista muodostettu normaalikartta



Kuva 15. Saumoista muodostettu normaalikartta

Lipun materiaalin luomiseen käytettiin node-järjestelmää. Node-järjestelmä koettiin aluksi hämmentäväksi, mutta sen ymmärtäminen ja käyttäminen koitui lopulta helpoksi. Materiaali rakennettiin pääosin oletusvarjostimen, Principled BSDF:n, ympärille. Varjostimeen pystyttiin yhdistämään kaikki normaalikartat ja lipun väri. Tässä vaiheessa aikaa ei mennyt niinkään itse materiaaliverkoston luomiseen, vaan node-asetusten hienosäätämiseen. Normaalikarttojen vahvuutta, ja sitä kuinka ne sekoittuvat keskenään pidettiin tärkeänä. Koska normaalikarttojen yksityiskohdat, kuten rypyt ja taitteet eivät liiku simulaation mukana, niiden täytyi olla tarpeeksi huomaamattomia. Normaalikarttojen ollessa liian vahvoja ne tekivät lipusta luonnottoman näköisen, koska lipun liehuessa pystyi selvästi näkemään, kuinka jotkin taitteet pysyivät paikallaan.

Lipusta haluttiin joko mattapintainen kangas, kiiltävä kangas, tai jotain siltä väliltä. Materiaalin asetuksia, kuten kiiltävyyttä ja läpinäkyvyyttä vaihdeltiin, ja Principled BSDF -varjostimeen kokeiltiin sekoittaa esimerkiksi Glossy BSDF-, Translucent BSDF- ja Velvet BSDF -varjostimia, jotka toisivat kiiltävyyttä lippuun. Jotta lipusta saataisiin vielä enemmän kankaan näköinen, sille lisättiin Layer Weight -node, joka lisäisi lippuun kankaan taitteisiin syntyvän ”hohdon”. Alla olevassa kuvassa (kuva 16) on esitetty lipun materiaalin node-verkosto.



Kuva 16. Lipun materiaali

Muut materiaalit olivat yksinkertaisia ja helppoja luoda. Koska lipputangot ovat yleisesti tasisen valkeita, lipputangon materiaalina käytettiin oletus materiaalia, jonka väriä ja

metallisuutta säädettiin hiukan. Köyden materiaalina käytettiin oletusmateriaalia, eikä sille laitettu mitään tekstuuria, koska köysi oli niin ohut, ettei tekstuuria voisi erottaa.

Koska lipusta haluttiin luonnollisen näköinen, se päätettiin valaista käyttämällä HDR-kuvaa, joka esittäisi ulkoilmamaisemaa. Koska kyseessä on Suomen lippu, internetistä haettiin vapaasti käytettäviä HDR-kuvia maisemista, jotka voisivat olla Suomessa. Eri sääolosuhteita ja vuodenaikoja kokeiltiin, eikä tässä vaiheessa päätetty vielä lopullista ratkaisua. HDR-kuvan voi vaihtaa helposti, joten sen valitseminen jätettiin viimeiseksi. Koska valaistus vaikuttaa siihen miltä materiaali näyttää, saatettiin materiaaliin tehdä lopuksi muutoksia.

4.5 Renderöinti

Renderin tekemiseksi täytyi päättää, miten lippu sommiteltaisiin ja mitä renderöintiasetuksia käytettäisiin. Renderöimiseen haluttiin käyttää Cycles-renderöntimoottoria, jotta kuvasta saataisiin mahdollisimman realistinen. Ensimmäisenä sommitteluna oli ottaa laajakuva lipusta, koska tällä tavalla lipusta, tangosta ja köydestä saataisiin hyvä kokonaiskuva. Yhteistyökumppani Promedian ideana oli ottaa lähikuva lipusta hidastettuna, joten molempia sommittelutapoja päätettiin kokeilla. Kun lippu kuvattiin läheltä, huomattiin että renderöinti-aika hitaampi verrattuna kauempaa kuvaamiseen. Läheltä renderöidessä yhden kuvan prosessoinnissa kesti yli viisi minuuttia, kun taas kauempaa otetussa laajakuvassa prosessoinnissa kesti noin minuutti. Tästä syystä lähikuvan ottamisesta luovuttiin Cycles-renderöntimoottoria käytettäessä, koska sen tekemiseen ei ollut tarpeeksi resursseja. Sulavan animaation saamiseksi kuvia täytyi renderöidä vähintään muutama sata, jossa lähikuvien tapauksessa olisi kestänyt yli vuorokauden. Tästä syystä lähikuvan renderöintiin päätettiin käyttää nopeampaa Eevee-moottoria, kun taas laajakuvassa voitaisiin käyttää Cycles-moottoria. Lähikuvaa sommitellessa myös nähtiin, että normaalikarttojen laatu ei aivan riittänyt, jolloin esimerkiksi lipun saumat näyttivät hieman sumeilta. Tässä vaiheessa projektia normaalikarttoja ei kuitenkaan alettu tekemään uudestaan, koska se vaatisi uusien, tarkempien kuvien ottamista.

Laajakuvassa kamera asetettiin tarpeeksi kauas, jotta renderöinti-aika voitaisiin pitää pienenä. Kameran täytyi kuitenkin olla tarpeeksi lähellä lippua, jotta lipussa olevat yksityiskohdat näkyisivät tarpeeksi hyvin. Kamera aseteltiin niin, että lippu olisi noin kultaisen leikkauksen kohdalla. Myös kolmannesten sääntöä pyrittiin käyttämään kameraa asetellessa. Kameraan haluttiin hieman liikettä, joten se animoitiin liikkumaan hitaasti taaksepäin.

Laajakuvan renderöinnissä kokeiltiin käyttää kohinanpoistoa. Käyttämällä OptiX-kohinanpoistoa huomattiin, että se poisti lipussa olevat yksityiskohdat, luullen niitä kohinaksi. NLM-kohinanpoistolla ei ollut samaa ongelmaa, joten päädyttiin käyttämään sitä.

Koska molemmista sommittelutavoista pidettiin, päätettiin molemmat renderöidä videoksi. Laajakuvan renderistä tehtiin 400:n kehyksen mittainen ja sen tarkkuudeksi valittiin 1920 kertaa 1080 pikseliä. Kuvataajuudeksi valittiin 24 kehystä sekunnissa, koska se on tyypillisin elokuvissa käytetty kuvataajuus. Lähikuvan render oli myös 400:n kehyksen mittainen, mutta resoluutiota pystyttiin nostamaan Eevee-moottorin nopeuden takia. Jotta lähikuvasta saataisiin hidastettu, kokeiltiin korkeampia kuvataajuuksia, jotta video voitaisiin myöhemmin hidastaa 24 kuvaan sekunnissa. Tämä toimintatapa ei kuitenkaan ollut niin yksinkertainen kuin kuviteltiin, joten itse Cloth-simulaation nopeutta madallettiin. Kuvissa 17 ja 18 näkyy valmis efekti molemmista kuvakulmista.



Kuva 17. Lippuefekti laajakuvassa



Kuva 18. Lippuefekti lähikuvassa

5 Case: Tekstiefekti

5.1 Tavoitteet

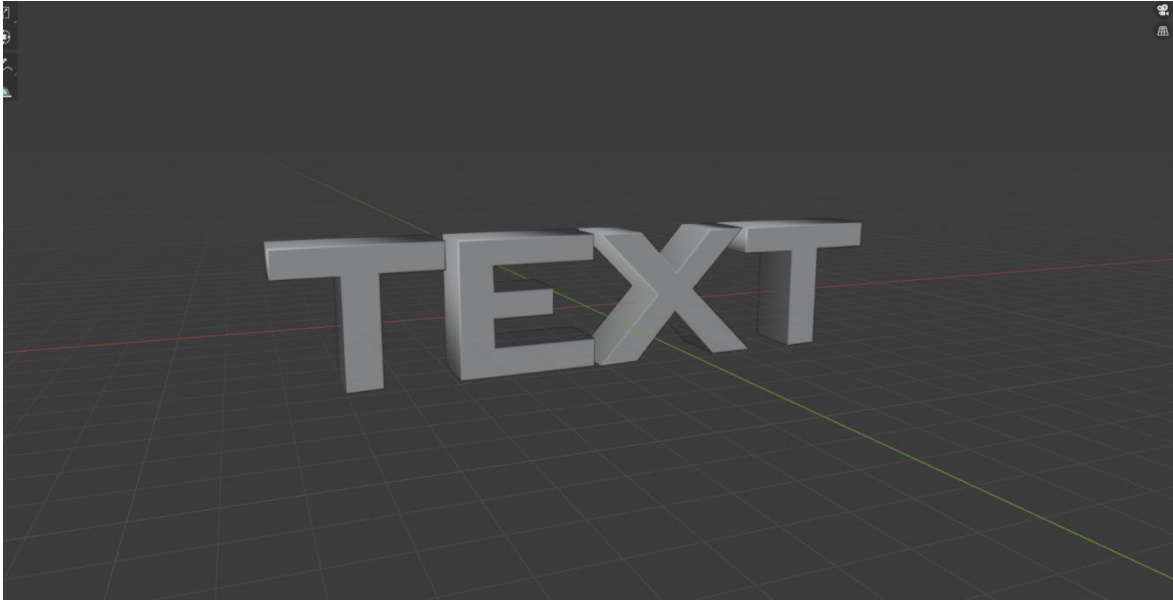
Tavoitteena oli luoda tyylikäs elokuvallinen 3D-tekstianimaatio. Itse animaatio ei ollut keskeinen osa työtä, vaan tekstin materiaalit ja valaistus, joiden avulla efektistä saataisiin näyttävä.

Yhteistyökumppani Promedia ehdotti tyylikkäiden tekstiefektien luomista, ja koska ideasta pidettiin, päätettiin se ottaa osaksi opinnäytetyötä. Tekstiefektille ei kuitenkaan ollut tiedossa mitään tiettyä käyttötarkoitusta, joten sen luomisessa päätettiin käyttää vapaasti luovuutta. Koska tyyllisesti tekstiefektille ei etukäteen ollut mitään vaatimuksia, tyyli päätettiin hakea sen hetkisen inspiraation mukaan. Tekstiefektistä päätettiin tehdä samankaltainen kuin elokuvien logoanimaatioista, joissa tyyppillisesti logo paljastuu pimeästä ja palaa takaisin pimeään. Muita vaihtoehtoja kokeiltiin, mutta lopulta tätä valintaa pidettiin parhaana, koska se oli yksinkertaisen tyylikäs.

5.2 Mallintaminen

Helppoin tapa luoda tarvittava teksti efektiä varten oli käyttää Blenderin tekstityökalua. Näin tekstin pystyi helposti luomaan ilman tarvetta mallintaa jokaista kirjainta yksitellen. Opinäytetyössä tekstiefektin tekstiksi laitettiin "text", koska efektille ei ollut tiedossa varsinaista tarvetta silloisessa vaiheessa projektia. Sana "text" oli myös sopivan lyhyt, joten se voitiin asettaa kuvan keskelle sopivan kokoisena.

Koska tekstistä haluttiin tehdä kolmiulotteinen, lisättiin sille paksuus. Kun teksti oli aseteltu hyvin ja sopiva fontti oli valittu, täytyi teksti muuttua meshiksi. Blender luo tekstin automaattisesti kurviksi, joten se täytyy muuttaa meshiksi, jos siihen halutaan asettaa materiaaleja. Tässä vaiheessa itse tekstin mallinnus oli valmis. Kuvassa 19 näkyy mallinnettu teksti.



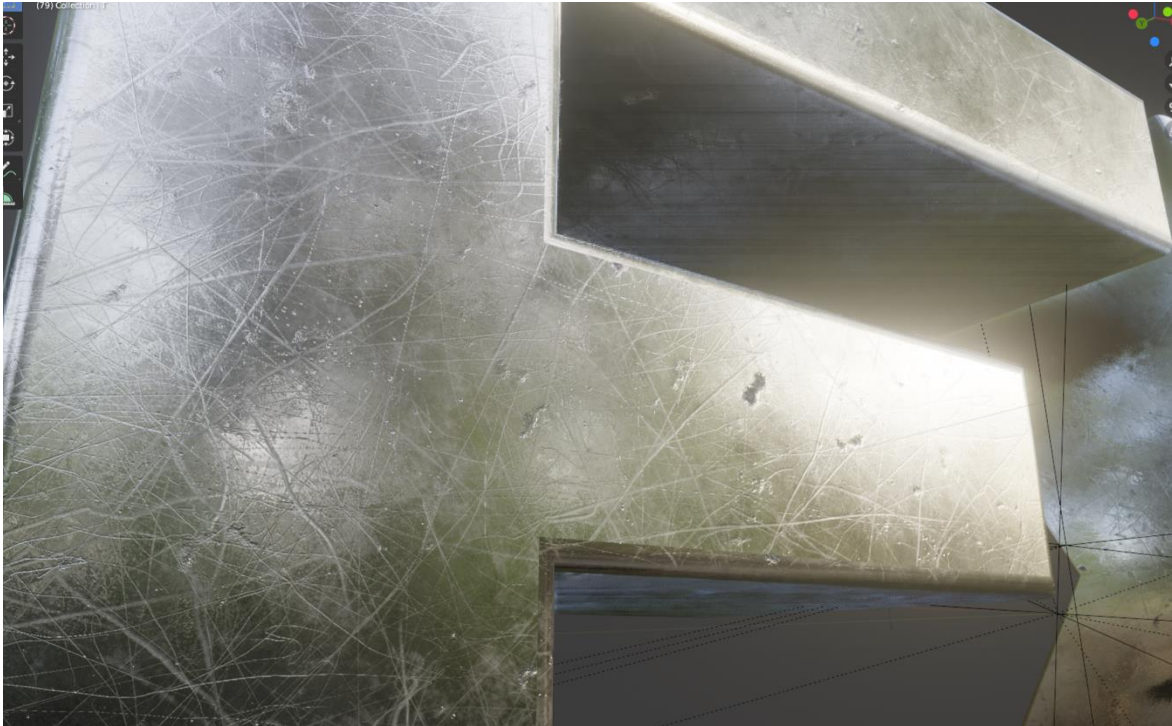
Kuva 19. Mallinnettu teksti

5.3 Materiaalit ja valaistus

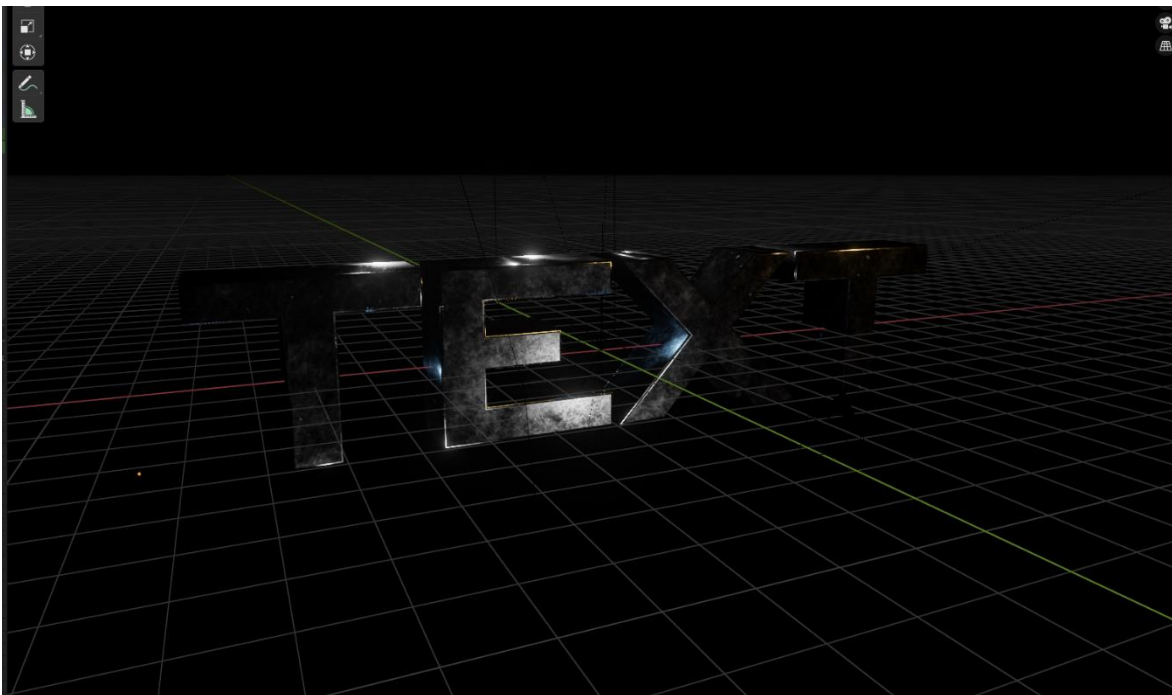
Materiaalia varten päätettiin hakea internetistä vapaasti käytettäviä tekstuureja, joista monia erilaisia kokeiltiin. Tekstin haluttiin reagoivan valoon, joten tekstuuriksi valittiin metallinen tekstuuri. Tekstistä saatiin helposti tyylikkään näköinen ilmaisten tekstuurien ansiosta. Ladattavien tekstuurien mukana sai itse kuvatiedoston lisäksi metallisuuden, kiiltävyyden ja normaalien suunnan määrittävät kartat. Nämä kartat voitiin helposti liittää node-järjestelmällä osaksi materiaalia.

Valaistus haluttiin toteuttaa monilla eri liikkuvilla valonlähteillä, jotka asetettiin tekstin ympärille, jotta tekstistä saataisiin paljon heijastuksia eri suunnista. Eri väriyhdistelmiä kokeiltiin, koska efektiin haluttiin kontrastia. Lopulta päädyttiin lisäämään neljä valkoista, neutraalia valoa ja yksi keltainen ja sininen valo. Keltaisen ja sinisen väriyhdistelmää pidettiin hienona, muttei liian räikeänä. 3D-tilan tausta muutettiin mustaksi, jotta teksti ei näkynyt, kunnes valo osui siihen.

Monesta valonlähteestä huolimatta teksti ei tullut tarpeeksi hyvin esille pimeästä. Tekstin ympärille sijoitetut valot osuivat lähes ainoastaan kirjaimien reunoihin. Tätä efektiä pidettiin tyylikkäänä, joten valojen tehoja ei haluttu muuttaa liikaa. Sen sijaan 3D-tilaan lisättiin uusi valo, joka kulkisi tekstin edestä samalla paljastaen tekstin. Näin tekstin paljastuksesta saatiin dramaattisempi. Metallinen, valoa heijastava materiaali auttoi efektin toimimisessa, koska ilman valoa teksti pysyi tarpeeksi piilossa. Valon siirtyessä tekstin ohi koko teksti valaistui näyttävästi. Kuvassa 20 on esitetty tekstin materiaali Material Preview -moodissa. Kuvassa 21 näkyy miltä teksti näytti pimeässä, kun valonlähteet osuvat siihen.



Kuva 20.



Kuva 21.

Yhtenä vaihtoehtona valaisemisen ja materiaalien suhteen kokeiltiin tekstiä, joka olisi taivasta vasten ja jonka valaisemiseen käytettäisiin HDR-kuvaa. Myös erilaisia taustoja

kokeiltiin, esimerkiksi kiviseinää. Tekstin alapuolelle kokeiltiin lisätä sumua, ja vaikka sumulla saatiin aikaan hieno efekti, lopulta sen huomattiin olevan turha tähän projektiin.

5.4 Animointi

Jotta efektiin saataisiin liikettä, haluttiin tekstin liikkuvan jollain tavalla. Tekstin haluttiin paljastuvan, joten teksti laitettiin tulevan kuvaan paljastaen itsensä. Tyylikäs, yksinkertainen ja helppo tapa oli laittaa teksti tulemaan kuvaan kameran takaa takaperin. Tämä idea toimi myös, koska kirjaimien välissä on aukkoja, joista kamera mahtui kulkemaan. Jotta efekti ei olisi liian yksinkertainen, tekstin päätettiin tulevan kuvaan vinottain, samalla suoristaen itsensä.

Kun animaatiota alettiin tekemään, huomattiin, että tekstin liikuttamisen sijaan kannatti liikuttaa kameraa. Tällä keinolla saatiin sama lopputulos, mutta animoiminen oli helpompaa.

Valonlähteiden haluttiin liikkuvan, mutta niiden animoiminen yksi kerrallaan olisi ollut työlästä. Paremman keinon huomattiin olevan liittää kaikki kuusi valonlähdeä yhteen tyhjään objektiin, jonka kokoa tai sijaintia muuttamalla pystyttiin siirtämään kaikkia valoja. Valojen tehon muutoksia jouduttiin kuitenkin animoimaan yksitellen avainkehysten avulla. Koska efektin ideana oli tulla ja sen jälkeen mennä takaisin pimeyteen, täytyi kaikkien valojen tehot animoida vastaamaan tätä ideaa.

5.5 Renderöinti

Tekstiefektissä käytettiin Eevee-renderöintimoottoria. Eevee sopi hyvin tämän efektin kanssa, koska tekstin ei ollut tarkoitus olla realistinen samalla tavalla kuin lippusimulaatio. Tekstiefektistä katsottaessa tiedetään, että se ei ole aito. Eevee-moottorilla renderöidessä renderöintiajat ovat huomattavasti nopeammat verrattuna Cycles-moottoriin. Tästä syystä lopullinen render päätettiin tehdä 4K-resoluutiolla mahdollisimman tarkan kuvan aikaansaamiseksi.

Efektistä haluttiin mahdollisimman elokuvamainen, joten animaatiosta ei haluttu liian sujuvaa ja puhdasta. Esimerkiksi liian korkea kuvataajuus voisi saada animaation näyttämään videopelimäiseltä. Tästä syystä kuvataajuudeksi asetettiin 24 kuvaa sekunnissa, joka vastaa yleistä elokuvien kuvataajuutta. Tekstin ei myöskään haluttu olevan täysin terävä koko efektin ajan, joten päätettiin käyttää efektejä kuten liikesumennusta ja syväterävyyttä. Näin tekstin liikkuessa kuvaan siitä saatiin sumea, kunnes se asettui paikoilleen.

Lopullisessa renderissä teksti tulee kameran takaa vinoittain, kameran kulkiessa kirjainten välissä olevan raon läpi. Valonlähteet ovat alussa pois päältä, aktivoituen vähitellen tekstin

tullessa kuvaan. Teksti asettuu kuvan keskelle kameran tarkennuspisteeseen samalla kuin voimakas valo pyyhkäisee tekstin, paljastaen sen. Lopuksi valot sammuvat ja efekti loppuu mustaan ruutuun. Kuvassa 22 näkyy valmis tekstiefekti.



Kuva 22. Valmis tekstiefekti

Toista asettelua, jota harkittiin, oli kuvata teksti monesta eri vaihtuvasta kuvakulmasta. Näin efektistä olisi saatu pidempi, ja tekstin paljastuminen olisi voinut olla dramaattisempi. Tämä idea olisi saatettu toteuttaa, jos se olisi tullut mieleen aikaisemmin. Alkuperäistä ideaa pidettiin kuitenkin myös hyvänä ja sopivan ytimekkäänä.

6 Yhteenveto

Opinnäytetyön tavoitteena oli luoda kaksi erilaista 3D-efektiä Blender-ohjelmalla, joista yksi esittää liehuvaa lippua ja toinen tekstianimaatiota. Laadullisesti efektien tavoitteena oli olla tarpeeksi näyttäviä, jotta niitä voitaisiin mahdollisesti käyttää lahtelaisen Promedian tuottamassa dokumenttielokuvassa.

Efektien luomista varten täytyi kerätä tietoa ja osaamista Blenderin eri toiminnoista. Blender on ominaisuuksiltaan laaja ohjelma, ja vaikka sen käyttäminen oli ennaltaan tuttua, monien asioiden toteutukseen jouduttiin etsimään ideoita internetistä. Itse efektien luomisessa ei silti lopulta ollut paljon ongelmia. Esimerkiksi 3D-mallinnusvaiheet olivat melko nopeita osia työssä. Eniten työtä ja aikaa vaati efektien hienosäätäminen, kuten lipun normaalikarttojen pienten yksityiskohtien luominen, Cloth-simulaatioasetusten säätäminen tai tekstiefektin valojen säätäminen. Näitä vaiheita hidasti myös selkeän suunnittelun puuttuminen. Sen sijaan, että efektit olisi suunniteltu täysin etukäteen, annettiin ideoiden tulla enimmäkseen sitä mukaan, kun työtä tehtiin. Tämä toimintatapa tuntui luonnolliselta, muttei välttämättä ollut paras jälkikäteen ajatellen. Toisaalta suunnittelun puute on luonnollista, koska työn alussa kokemuksen puutteen seurauksena ei ollut varmuutta siitä, miten efektit tulisi varsinaisesti valmistaa.

Lipun sommittelua olisi myös voinut suunnitella paremmin esimerkiksi kommunikoimalla yhteistyökumppanin kanssa enemmän. Lipusta tehtiin lopulta kaksi eri versiota, johon mahdollisesti kului turhaa aikaa. Esimerkiksi lipputankoa tai köyttä ei olisi tarvinnut mallintaa, jos alusta asti olisi tiedetty lähikuvan olevan ensisijainen vaihtoehto. Työn tekemisen ohessa saadulla osaamisella ja kokemuksella samankaltaisten efektien luominen olisi kuitenkin nopea prosessi.

Laadullisesti efekteissä ainoa asia, joka pisti silmään, oli lipun normaalikartan laatu lähikuvassa. Vaikka normaalikarttoja varten otettujen kuvien resoluution ajateltiin olevan korkea, lähikuvassa voitiin nähdä, että tarkkuutta olisi voinut olla lisää. Tämä on ymmärrettävää, koska työssä käytetty kamera oli matkapuhelimen sisäänrakennettu kamera, jonka laadun ei voitu odottaa olevan erinomaista. Normaalikarttoja tehdessä ei myöskään vielä ollut ideaa lähikuvan ottamisesta. Seuraavissa samankaltaisissa projekteissa normaalikarttojen kuvat voisi ottaa laadukkaammalla kameralla ja korkeammalla resoluutiolla tarkempien kuvien saamiseksi. Efektien laatuun oltiin kuitenkin lopulta tyytyväisiä, eikä niihin jäänyt suuria puutteita. Myös yhteistyökumppani Promedia oli tyytyväinen työn laatuun. Efekteistä saisi kuitenkin tehtyä näyttävämpiä enemmän kokemuksen, osaamisen ja ajan kanssa. On myös otettava huomioon, että Blender on ilmaisohjelma, ja vaikka se on kyvykäs, voitaisiin mahdollisilla ohjelmilla luultavasti tehdä näyttävämpää jälkeä.

Lopullisen renderöinnin kanssa ongelmana oli työpisteen rajoitettu tehokkuus. Vaikka tiedettiin, että työpiste on tarpeeksi tehokas raskaampiin tehtäviin, tietynlaisten renderien prosessointi Cycles-renderöintimoottorilla vei kohtuuttoman paljon aikaa. Käytetyllä työpisteellä pitkien ja korkean resoluution rendereihin kuluisi päiviä, mikä on ongelma, koska tietokoneen renderöidessä se ei ole tarpeeksi toimintakykyinen muihin tehtäviin. Tämä ei olisi ongelma, jos käytettävissä olisi hyvin tehokas tietokone, joka prosessoisi tehtävät nopeammin, tai toinen täysin renderöintiä varten oleva tietokone. Melko yksinkertaiset ja lyhyet efektit ovat kuitenkin täysin kohtuullisia projekteja, vaikka käytettävissä ei olisi paljon prosessointitehoa. Jos efektilä ei pyritä fotorealismiin, Eevee-renderöintimoottori on hyvä valinta sen nopeuden vuoksi.

Lähteet

Akeley, K., Feiner, S., Foley, J., Hughes, F., McGuire, M., Sklar, D. & Van Dam, A. 2014. Computer Graphics: Principles and Practice. Boston: Addison-Wesley.

Blain, J. 2017. The Complete Guide to Blender Graphics. Boca Raton: CRC Press.

Blender. 2020a. Primitives. Viitattu 26.3.2021. Saatavissa <https://docs.blender.org/manual/en/latest/modeling/meshes/primitives.html>

Blender. 2020b. Curves. Viitattu 26.3.2021. Saatavissa <https://docs.blender.org/manual/en/latest/modeling/curves/introduction.html>

Blender. 2020c. Light Objects. Viitattu 26.3.2021. Saatavissa https://docs.blender.org/manual/en/latest/render/lights/light_object.html

Blender. 2020d. Cameras. Viitattu 26.3.2021. Saatavissa <https://docs.blender.org/manual/en/latest/render/cameras.html>

Blender. 2020e. Force Fields. Viitattu 26.3.2021. Saatavissa https://docs.blender.org/manual/en/latest/physics/forces/force_fields/introduction.html

Blender. 2020f. Materials. Viitattu 26.3.2021. Saatavissa <https://docs.blender.org/manual/en/latest/render/materials/introduction.html>

Blender. 2020g. Principled BSDF. Viitattu 26.3.2021. Saatavissa https://docs.blender.org/manual/en/latest/render/shader_nodes/shader/principled.html

Blender. 2020h. Shader Nodes. Viitattu 26.3.2021. Saatavissa https://docs.blender.org/manual/en/latest/render/shader_nodes/introduction.html

Blender. 2020i. Cloth. Viitattu 26.3.2021. Saatavissa <https://docs.blender.org/manual/en/latest/physics/cloth/settings/index.html>

Blender. 2020j. Baking Physics Simulations. Viitattu 26.3.2021. Saatavissa <https://docs.blender.org/manual/en/latest/physics/baking.html>

Blender. 2020k. F-Curves. Viitattu 26.3.2021. Saatavissa https://docs.blender.org/manual/en/latest/editors/graph_editor/fcurves/introduction.html#editors-graph-fcurves-settings-interpolation

Blender. 2020l. Eevee. Viitattu 27.3.2021. Saatavissa <https://docs.blender.org/manual/en/latest/render/eevee/introduction.html>

- Blender. 2020m. Workbench. Viitattu 27.3.2021. Saatavissa <https://docs.blender.org/manual/en/latest/render/workbench/introduction.html>
- Blender. 2020n. Viewport Shading. Viitattu 27.3.2021. Saatavissa <https://docs.blender.org/manual/en/latest/editors/3dview/display/shading.html>
- Blender. 2020o. Output. Viitattu 27.3.2021. Saatavissa <https://docs.blender.org/manual/en/latest/render/output/properties/output.html>
- Blender. 2020p. Denoising. Viitattu 27.3.2021. Saatavissa <https://docs.blender.org/manual/en/latest/render/layers/denoising.html>
- Blenderinsight. Beginner's guide to Cycles nodes, the procedural way. Viitattu 16.3.2021. Saatavissa <http://www.blenderinsight.com/beginners-guide-to-cycles-nodes-the-procedural-way/#post-640-3qtp3psf9f6p>
- Chronister, J. 2017. Blender Basics.
- Clark, T. 2011. Digital Photography Composition For Dummies. Hoboken: Wiley.
- Computer Hope. 2019. Key frame. Viitattu 25.3.2021. Saatavissa <https://www.computerhope.com/jargon/k/key-frame.htm>
- Educba. Maya vs 3ds Max vs Blender. Viitattu 14.3.2021. Saatavissa <https://www.educba.com/maya-vs-3ds-max-vs-blender/>
- Golden Ratio diagram. 2021. Viitattu 14.3.2021. Saatavissa <https://www.canva.com/learn/what-is-the-golden-ratio/>
- HDRIHaven. Frequently Asked Questions. Viitattu 25.3.2021. Saatavissa <https://hdrihaven.com/p/faq.php#what>
- Hockman, S. 2013. Mastering Composition in Digital Photography.
- Marschner, S. & Shirley, P. 2016. Fundamentals of Computer Graphics. Boca Raton: CRC Press.
- McDonald, A. 2020. What is CGI (Computer-Generated Imagery) & how does it work? The Rookies. Viitattu 14.3.2021. Saatavissa <https://discover.therookies.co/2020/04/05/what-is-cgi-computer-generated-imagery-how-does-it-work/>
- Okun, J. & Zwerman, S. 2010. The VES Handbook of Visual Effects. Waltham: Focal Press.

Pluralsight. 2014. Eliminate Texture Confusion: Bump, Normal and Displacement Maps. Viitattu 25.3.2021. Saatavissa <https://www.pluralsight.com/blog/film-games/bump-normal-and-displacement-maps>

Pluralsight. 2015. Which 3D Software Should I Choose for Asset Creation? Viitattu 14.3.2021. Saatavissa <https://www.pluralsight.com/blog/film-games/3ds-max-maya-it-blender-3d-software-choose-asset-creation>

Ross, A. 2017. Why CGI is important for small and medium-sized businesses. Dassault Systèmes. Viitattu 14.3.2021. Saatavissa <https://blogs.3ds.com/perspectives/why-cgi-is-important-for-small-and-medium-sized-businesses/>

Sawicki, M. 2011. Filming the Fantastic: A Guide to Visual Effects Cinematography. Waltham: Focal Press.

Statista. Average production costs of CGI, 3D and animation effects per movie in the United States from 2008 to 2018. Viitattu 14.3.2021. Saatavissa <https://www.statista.com/statistics/1020957/cgi-animated-movie-production-costs-us/>

Thomas & Hayward. 2019. What is ray tracing? The games, the graphics cards and everything else you need to know. TechRadar. Viitattu 25.3.2021. <https://www.techradar.com/news/ray-tracing>

Van Gumster, J. 2015. Blender For Dummies. Hoboken: Wiley.

Van Zalinge, V. 2015. Perched blue and orange bird. Viitattu 14.3.2021. Saatavissa <https://unsplash.com/photos/vUNQaTtZeOo>

Wikibooks. 2020. Blender 3D: Noob to Pro/Normal Mapping. Viitattu 25.3.2021. Saatavissa https://en.wikibooks.org/wiki/Blender_3D:_Noob_to_Pro/Normal_Mapping

Wikibooks. 2020. Blender 3D: Noob to Pro/UV Map Basics. Viitattu 16.3.2021. Saatavissa https://en.wikibooks.org/wiki/Blender_3D:_Noob_to_Pro/UV_Map_Basics