



Matilda Heilala

## 3D-mallin teksturointi

Kameraprojektoiden hyödyntäminen käsinmaalattujen tekstuurien luomisessa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Medianomi (AMK)

Viestintä

Opinnäytetyö

28.11.2022

## Tiivistelmä

Tekijä(t):	Matilda Heilala
Otsikko:	3D-mallin teksturointi: Kameraprojektoiden hyödyntäminen käsinmaalattujen tekstuurien luomisessa.
Sivumäärä:	42 sivua + 1 liitettä
Aika:	28.11.2022
Tutkinto:	Medianomi (AMK)
Tutkinto-ohjelma:	Viestintä
Suuntautumisvaihtoehto:	3D-animointi ja -visualisointi
Ohjaaja(t):	Lehtori Jaro Lehtonen

---

Opinnäytetyön tavoitteena oli tutustua 3D-mallin teksturointiprosessiin ja tutkia teksturoinnin sekä kameraprojektoiden perusteita. Lisäksi tavoitteena oli analysoida Arcane-animaatiosarjan visuaalista tyyliä. Tätä tutkimusta ja analyysiä apuna käyttämällä tarkoitus oli tehdä projekti, jossa 3D-malli teksturoidaan käsin maalaamalla ja kameraprojektioita hyödyntämällä.

Luvuissa 2–3 käsitellään teksturoinnin teoriaa ja perusteita. Teoriaosuudessa perehdytään yleisimpiin teksturoinnissa käytettyihin karttoihin sekä niiden käyttötarkoitukseen. Lisäksi tutustutaan erilaisiin teksturointitapoihin, kuten proseduraaliseen ja käsinmaalattuun teksturointiin. Teoriaosuuden lopussa perehdytään lyhyesti myös kameraprojektoiden käyttöön ja toimintaperiaatteisiin.

Opinnäytetyön luku 4 sisältää analyysin Arcane-animaatiosarjan visuaalisesta tyylistä. Luvussa analysoidaan sarjassa käytettyä teksturointityyliä, animaatiota sekä 2D- ja 3D-elementtien yhdistämistä.

Luku 5 sisältää projektiosuuden, jossa kuvaillaan 3D-mallin valmistusprosessi suunnitteluvaiheesta teksturointiin. Teksturoinnissa hyödynnetään opinnäytetyössä aikaisemmin tutkittua teoriaa ja analyysiä. Projektissa tutustutaan myös tarkemmin kameraprojektoiden käyttöön ja niiden käyttämiseen teksturointiprosessissa.

Opinnäytetyön päättää yhteenveto ja pohdinta, jossa arvioidaan projektin onnistuneisuutta. Yhteenveto sisältää myös pohdintaa kameraprojektoiden käytöstä teksturoinnin apuvälineenä projektista saadun kokemuksen perusteella.

Avainsanat: Teksturointi, 3D, kameraprojektio

## Abstract

Author(s):	Matilda Heilala
Title:	Texturing a 3D Model: Using Camera Projections to Create Hand-painted Textures.
Number of Pages:	42 pages + 1 appendices
Date:	28 November 2022
Degree:	Bachelor of Culture and Arts
Degree Programme:	Media
Specialisation option:	3D Animation and Visualization
Instructor(s):	Jaro Lehtonen, Senior Lecturer

---

The goal of this thesis was to get to know the texturing process of a 3D model and to study the basics of texturing and camera projections. In addition, the aim was to analyze the visual style of the animation series Arcane. With the help of this research and analysis, the purpose was to make a project in which the 3D model is textured by hand painting and using camera projections.

Chapters 2-3 discuss the theory and basics of texturing. The theory part introduces the most common maps used in texturing and their purposes. In addition, the chapters describe different texturing methods, such as procedural and hand-painted texturing. The end of these chapters briefly describes the use and operating principles of camera projections.

Chapter 4 of the thesis contains an analysis of the visual style of the Arcane animation series. The chapter analyzes the texturing style, animation, and combination of 2D and 3D elements in the series.

Chapter 5 contains the project section, which describes the 3D model manufacturing process from the design phase to texturing. The theory and analysis studied earlier in the thesis are used during the texturing phase. The project also describes more about the use of camera projections and their use in the texturing process.

The thesis ends with a summary and reflection, which evaluates the success of the project. Based on the experience gained from the project, the summary also includes reflection on the use of camera projections as an aid for 3D texturing.

Keywords: Texturing, 3D, camera projection

## Sisällys

1	Johdanto	1
2	Käsitteitä	2
3	Teksturointi ja kameraprojektiot	3
3.1	Mikä on tekstuuri?	3
3.2	Shader	4
3.3	UV	5
3.3.1	UV-kartan luominen saumojen avulla	5
3.3.2	UV-kartan luominen kameran avulla	6
3.4	PBR ja tekstuurikartat	7
3.4.1	Albedo ja diffuusi	7
3.4.2	Normaali ja bump	8
3.4.3	Metallisuus ja spekulaari	9
3.4.4	Ympäristövalo	10
3.4.5	Emissiivisyys	11
3.5	Teksturointitavat	12
3.5.1	Proseduraalinen teksturointi	12
3.5.2	Käsinmaalattu teksturointi	13
3.6	Kamera- ja tekstuuriprojisointi	16
4	Analyysi Arcane-sarjan visuaalisesta ilmeestä	16
5	Projektiosuus	24
5.1	Suunnitteluvaihe	25
5.2	Propin mallintaminen	27
5.3	Teksturointi	28
5.3.1	Tekstuurien maalaus	28
5.3.2	UV-kartoitus kameran avulla	30
5.4	Viimeistely	31
5.4.1	UV-karttaongelmien korjaaminen	31
5.4.2	Useamman UV-kartan käyttö	32
5.4.3	Tekstuurien beikkaus	34
6	Yhteenveto ja pohdinta	37
	Lähteet	39

Liitteet

43

Kuvia valmiista propista ja sen tekstuureista

43

# 1 Johdanto

Tämä opinnäyte työ käsittelee 3D-mallien teksturointia ja kameraprojektoiden käyttöä teksturointiprosessissa. Erityistarkastelussa ovat tyyllitellyn ja käsin maalatun teksturointijäljen aikaan saamiseen käytettävät menetelmät sekä työkalut. Opinnäytetyön tavoitteena on tutustua teksturointiin ja kameraprojisointiin syvemmin, sekä analysoida näiden menetelmien käyttöä Arcane-televisiosarjassa (Arcane, Yhdysvallat 2021). Tutkimuksen ja analyysin jälkeen tavoitteena on tehdä projekti, jossa aikaisemmin opittua hyödynnetään ja havainnollistetaan. Aiheen valintaan vaikuttivat henkilökohtainen kiinnostukseni käsinmaalatun ilmeen tekoprosesseihin sekä halu oppia uutta teksturoinnista ja kameraprojisoinnista tutkimustyön ohella. Lisäksi kiinnostus Arcane-sarjan taidetta kohtaan, sekä Lighting Boy Studio-kanavan YouTube-tutoriaalisarja edellä mainitun animaationsarjan visuaaliseen tyyliin innoittivat yrittämään itse maalauksellisen ilmeen toteutusta ja kameraprojisointiin tutustumista.

Opinnäytetyön teoriaosuudessa esitellään 3D-mallinnukseen ja teksturointiin liittyviä käsitteitä sekä tarkemmin teksturoinnin perusteita. Tässä osassa käydään läpi muun muassa tekstuuri- ja UV-karttojen merkitys sekä tekoprosessi, ja niihin liittyviä vaihtoehtoja. Tämän jälkeen kerrotaan lyhyesti myös kameraprojisoinnin perusteista, alustuen opinnäytetyön projektiosuutta.

Teoriaosuutta seuraa analyysi Arcane-televisiosarjan visuaalisesta ilmeestä. Analyysi sisältää tarkastelua ja erittelyä sarjassa käytetyistä menetelmistä erityisesti teksturoinnin ja käsinmaalatun tyyllitellyn osalta. Osuudessa tutkitaan myös kaksi- ja kolmiulotteisten elementtien yhdistämistä sarjassa ja sen saumattomuutta. Erityisen tärkeäksi tarkastelunkohteeksi analyysissä nousee sarjassa toteutettu valaistus ja miten se tukee sarjan tyyliä tekstuurien, 2D-kuvien ja animaation ohella. Analyysissä pohditaan myös mahdollista kameraprojektoiden käyttöä ja animaationsarjan vaikutusta kameraprojisoinnin mahdollisuuksiin.

Teoriaa ja Arcane-sarjan analyysiä hyödynnetään opinnäytetyön toiminnallisessa projektiosuudessa, jossa tavoitteena on mallintaa yksinkertainen teekannun 3D-malli ja teksturoida se käsinmaalattuun tyyliin kameraprojektoiden avulla. Projektiosuus sisältää kuvaukset projektin työvaiheista, kuten suunnitteluvaiheesta, tekstuurimaalauksesta ja UV-kartoituksesta. Projektissa syvennytään tarkemmin kameraprojektoiden käyttöön ja esitellään niiden hyödyt, mutta myös esille nousevat ongelmat. Näitä ongelmia ratkotaan projektiosuuden lopussa, jossa esitellään tapa beikata tekstuurit kääritylle UV-kartalle, jolloin voidaan hyödyntää tehokkaasti useaa kameraprojektiota ja UV-karttaa ilman yleisiä ongelmia, kuten tekstuurivääristymiä. Projektiosuuden ja samalla opinnäytetyön päättää yhteenveto aiheesta ja pohdintaa opinnäytetyössä tutkitun informaation ja työtapojen merkityksestä.

## 2 Käsitteitä

**3D:** kolmiulotteinen

**2D:** kaksiulotteinen

**Polygoni:** Monikulmio, joiden kokonaisuudesta 3D-mallit rakentuvat.

**Low-poly:** Pienestä polygonimäärästä koostuva polygoniverkko.

**High-poly:** Suuresta polygonimäärästä koostuva polygoniverkko.

**Verteksi:** 3D-avaruudessa oleva piste, jolla on sijainti mutta ei kokoa. Verteksit määrittävät esimerkiksi polygonit.

**Proppi:** 3D-mallinnettu esine.

**UV:** Kaksiulotteisen tekstuurikartan U- ja V-akselit, jotka määrittävät, mihin 3D-mallin kohtaan tekstuurin osat sijoittuvat.

**Beikkaus:** Prosessi, jossa 3D-mallin pintaan liittyvä informaatio tallentuu bittikartalle.

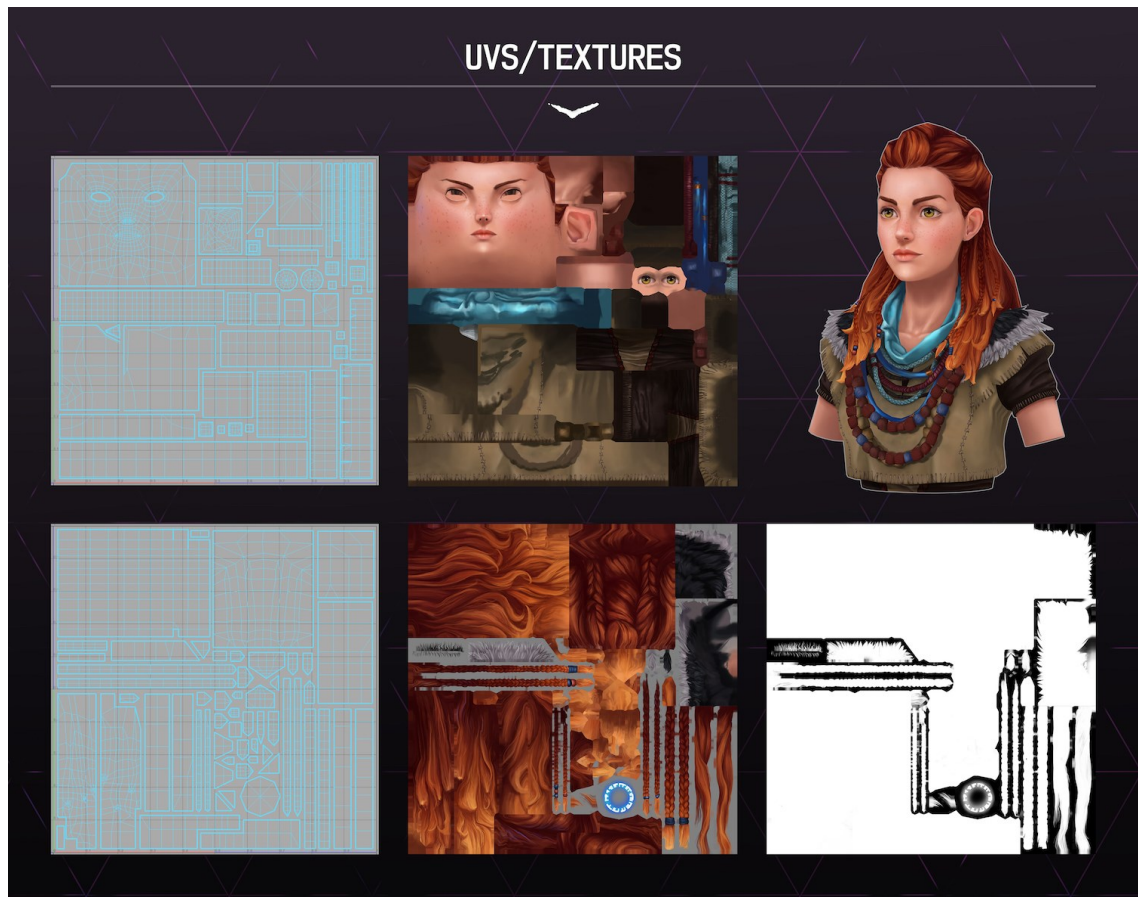
**Shader:** Ohjelma, jolla lasketaan valon intensiteetti 3D-mallin pinnalla.

**Renderointi:** Prosessi, jossa ohjelma luo kuvan 3D-objektista, johon sisältyy usein myös tietoa kuvakulmasta, tekstuurista ja valaistuksesta.

## 3 Teksturointi ja kameraprojektiot

### 3.1 Mikä on tekstuuri?

3D-grafiikassa tekstuureja, eli yleensä kaksiulotteisia bittikarttoja, käytetään ehostamaan 3D-objektien näyttävyyttä ja useissa tapauksissa myös realismia. Teksturointi tarkoittaa tekstuurien lisäämistä polygonimalliin (Pluralsight 2014). Erilaisten tekstuurikarttojen avulla voidaan tuoda esiin useita objektin pinnan ja materiaalin ominaisuuksia, kuten väriä, kiiltoa, läpinäkyvyyttä tai vaikutelma lisäyksityiskohdista, joita varsinaiseen 3D-objektiin ei ole mallinnusvaiheessa tehty.



Kuva 1. 3D-hahmo ja sen UV- sekä tekstuurikartat (Bueno, 2018).

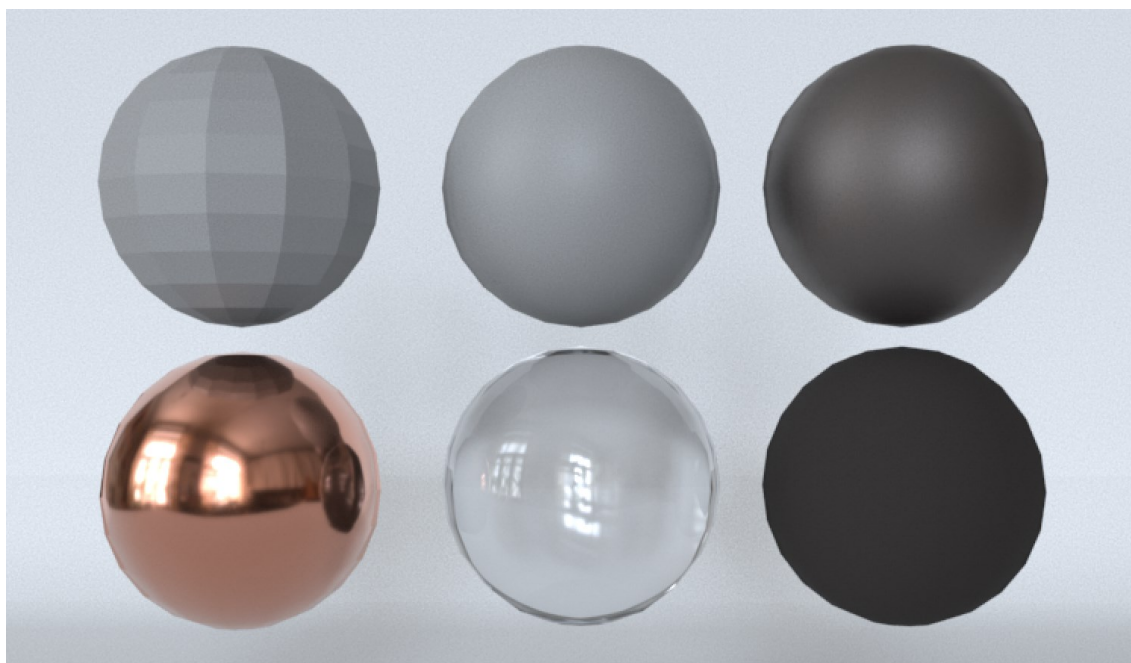
Perinteisesti teksturointiprosessi sisältää itse tekstuurikarttojen luomisen, joko valmiista valokuvista tai alusta alkaen joko maalaamalla tai proseduraalisilla menetelmillä, ja näiden tekstuurien projisoinnin 3D-objektin pinnalle UV-kartan



avulla. Tekstuurikarttojen yhdistäminen kokonaisuudeksi, materiaaliksi, kuuluu myös teksturointiprosessin viimeistelyyn (Adobe 2022).

### 3.2 Shader

Shader on 3D-grafiikassa käytetty koodattu ohjelma, jolle 3D-renderointiin käytettävä moottori antaa tietoa muun muassa 3D-mallin vertekseistä ja tekstureista, jotka ohjelma palauttaa takaisin väripikseleinä. Näin shader voi simuloida tapoja, joilla erilaiset pinnat heijastavat tai absorboivat valoa sekä niiden läpikuultavuutta. Simulaatio perustuu tuntemamme fysiikkaan, ja voi saada aikaan todella realistisia tuloksia (Shadercat 2016).



Kuva 2. Sama low-poly-pallo usealla eri shaderilla Maya:ssa.

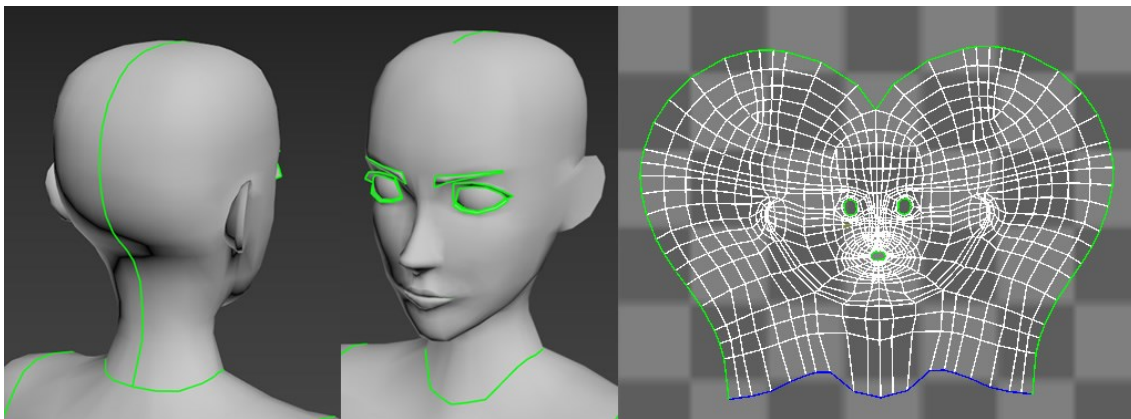
Shaderia tarvitaan teksturointiprosessissa siihen, että tekstuurikartat saadaan näkymään 3D-mallin pinnalla ja antamaan sille tietynlainen ilme (Pluralsight 2014). Shader-ohjelmien perusymmärrys on tärkeä osa teksturointia.

### 3.3 UV

Kun 3D-objekti on mallinnettu valmiiksi ja se halutaan teksturoida, objektista on luotava UV-kartta, jonka avulla tekstuuri voidaan projisoida 3D-mallin pinnalle. UV-kartta on kaksiulotteinen esitysmuoto kolmiulotteisesta objektista, missä kirjaimet "U" ja "V" tarkoittavat 2D-tekstuurin akseleita ja ilmaisevat kartan koordinaatteja. Tämä johtuu siitä, että kirjaimet "X", "Y" ja "Z" ilmaisevat jo akseleita 3D-tilassa (Denham 2022). UV-kartan luominen, UV-kartoitus (*UV-mapping*), tehdään yleensä 3D-mallinnusohjelmassa, kuten Maya:ssa tai Blender:issä (Calvello 2022).

#### 3.3.1 UV-kartan luominen saumojen avulla

Perinteisesti UV-kartta luodaan ikään kuin leikkaamalla 3D-mallin polygoniverkkoon saumojä, käärimällä malli auki näistä saumoista ja levittämällä se litteälle pinnalle. Monissa 3D-ohjelmissa on usein mahdollisuus suorittaa kartoitus automaattisesti, mutta monimutkaisemmissa objekteissa ohjelma saattaa luoda saumat niin, että tekstuuri vääristyy saumojen kohdalla, eli näyttää venyvän tai nipistyvän objektin pinnalla. Tällainen vääristyminen on yleensä epätoivottua ja saattaa vaikuttaa paljon mallin lopulliseen ilmeeseen. 3D-taiteilija saattaa siis joutua leikkaamaan saumat manuaalisesti tai muokkaamaan automaattisesti luotuja saumojä. Vääristymisen välttämiseksi saumat suositellaan usein sijoittamaan teräville reunoille tai piilottamaan ne objektin pinnalla paikoille, joissa ne eivät kiinnitä katsojan huomiota. Esimerkiksi luodessa 3D-hahmon pään UV-karttaa saumat voi sijoittaa korvien taakse tai niskaan, jolloin mahdollinen tekstuurin vääristyminen on piilossa (Calvello 2022).



Kuva 3. 3D-hahmon pään saumat ja UV-kartta (Meemoo Interactive, 2019).

### 3.3.2 UV-kartan luominen kameran avulla

3D-mallin UV-kartta voidaan luoda kolmiulotteisessa tilassa olevan kameran avulla. Tällä tekniikalla, 3D-tilaan asetetaan kamera ja UV-kartta projisoidaan objektille siitä kuvakulmasta, josta kamera sitä osoittaa. Tämä aiheuttaa yleensä sen, että 3D-mallin verteksit, jotka ovat lähempänä kameraa sen etupuolella jakavat UV-koordinaatistossa saman alueen kuin mallin takapuolella olevat verteksit kauempana kamerasta, ja tällöin kaksi 3D-mallin pinnan osaa jakavat saman alueen tekstuurikartalla. Tästä syystä kameran avulla luotujen UV-karttojen ongelma on se, että jos 3D-objektin tekstuuria katsoo mistään muusta suunnasta kuin alkuperäisen kameran kuvakulmasta, tekstuuri näyttää usein erittäin vääristyneeltä sillä puolella, joka on kauempana kamerasta.

Perinteisesti tällaista UV-kartan päällekkäisyyttä halutaan välttää, mutta kameran kautta projisoituja UV-karttoja voidaan joskus hyödyntää nopeuttamaan teksturointiprosessia tai muihin tyyllisiin tarkoituksiin. Taiteilija voi myös käyttää apunaan useampaa kamerasta projisoitua UV-karttaa, jotta kuvakulmista johtuvat vääristykset voidaan korjata (Calvello 2022).

Tämän opinnäytetyön projektiosuudessa käydään tarkemmin läpi prosessi, jossa UV-karttoja luodaan kameran avulla Blender:issä ja niitä hyödynnetään teksturointivaiheessa.

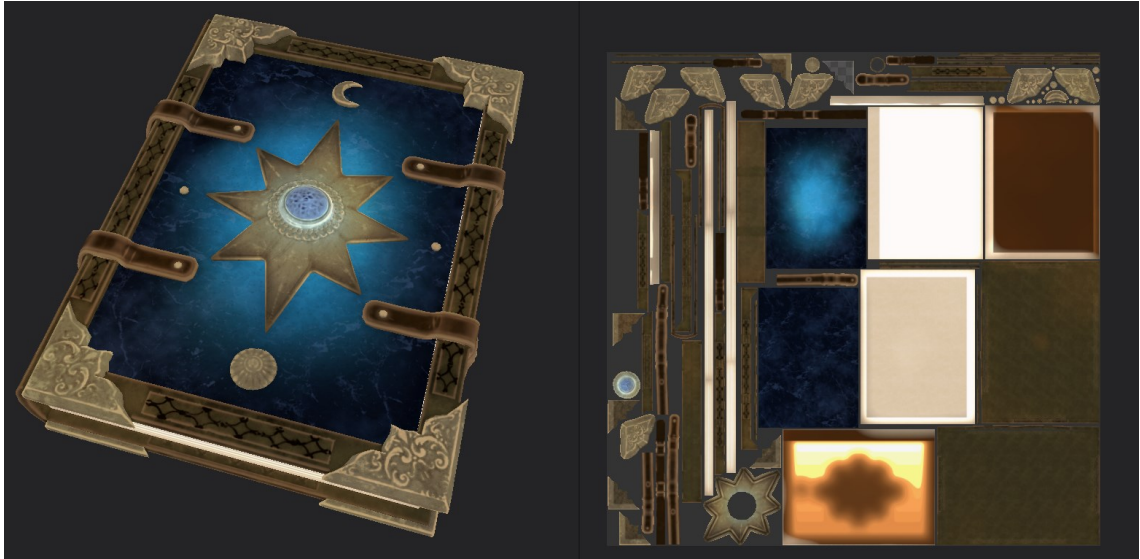
### 3.4 PBR ja tekstuurikartat

Physically Based Rendering (PBR), eli fysikaalisuuteen pohjautuva renderöinti, on muodostunut alan standardiksi. PBR-menetelmä hyödyntää realistisia valaistusmalleja erilaisten tekstuurikarttojen luomisessa. Erilaisia PBR-menetelmässä käytettäviä karttoja on kymmenen: albedo, normaali, metallisuus, spekuulaari, korkeus, opasiteetti, ympäristövalo, taittuminen ja emissiivisyys. Näiden karttojen yhdistelmänä luodaan lopullinen materiaali ja sen ulkonäkö 3D-mallin pinnalla (Denham 2022). Kartat kertovat, mikä osa materiaalista näyttää miltäkin. Tässä opinnäytetyön luvussa esitellään muutamat erilaiset tekstuurikartat ja niiden käyttötarkoitukset.

Perinteiset, ei-PBR-menetelmät käyttävät teksturoinnissa näistä kartoista yleensä vain muutamia ja sisällyttävät enemmän informaatiota karttaa kohden. Tämä tarkoittaa, että 3D-ympäristö, sen valot ja fysiikka eivät vaikuta kaikkiin 3D-mallin materiaalin ominaisuuksiin ja materiaalit eivät ole yhtä realistisia kuin PBR-menetelmillä tehdyt. Monissa projekteissa, joissa realismiin ei pyritä ja tavoitellaan tyyliä, työkennellä usein perinteisillä tavoilla ja vähemmän tekstuurikartoilla.

#### 3.4.1 Albedo ja diffuusi

Albedokartan (albedo map) päätehtävä on määrittää materiaalin väri ja se toimii usein materiaalin pohjana. Tekstuurikartta itsessään on siis kuva, joka sisältää yhtä tai useampaa väriä. Albedokartan ei yleensä sallita sisältävän mallin valaistukseen liittyvää informaatiota, kuten varjoja tai korostusvaloja, toisin kuin sen ei-PBR vastaavan tekstuurikartan, diffuusin, sallitaan. Tämä johtuu siitä, että tekstuurissa oleva valo saattaa näyttää erilaiselta 3D-ympäristön valaistuksesta ja tehdä siitä epärealistisen näköisen (Denham 2022).



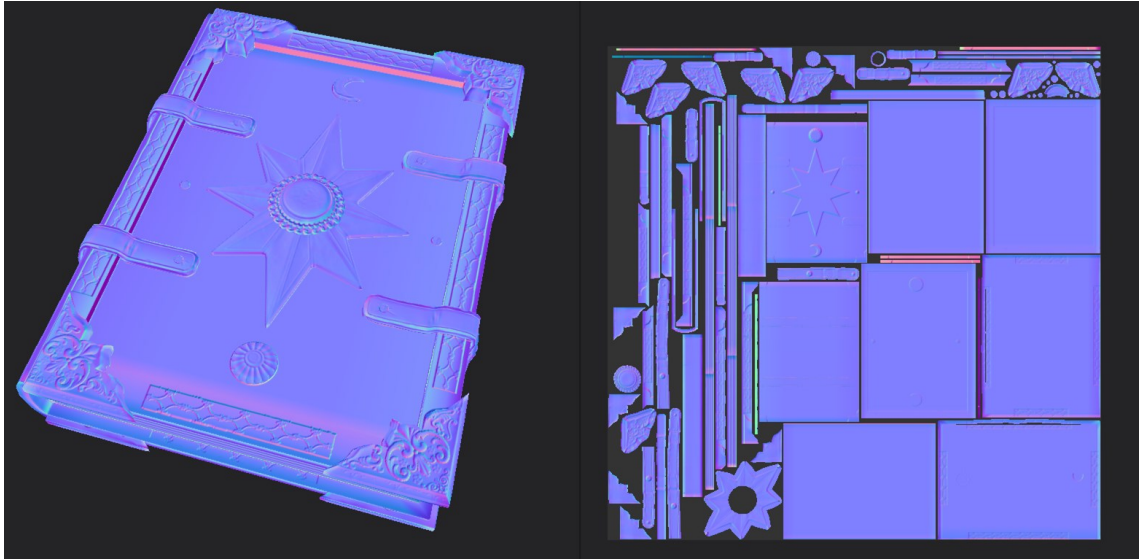
Kuva 4. Esimerkki 3D-kirjan albedokartasta Substance Painter:issa.

Diffuusikartta on hyvin samanlainen kuin albedokartta, ja termejä käytetään usein samasta asiasta puhuttaessa. Diffuusikartassa kuitenkin on tyypillistä, että se sisältää valaisuun liittyvää informaatiota, kuten varjoja. Tyylitellyssä käsinmaalatussa teksturointitavassa diffuusikartalle saatetaan joskus maalata suoraan jopa metallisuutta ja heijastuksia jäljittelevää jälkeä.

### 3.4.2 Normaali ja bump

Normaalikartan (normal map) avulla 3D-mallin pintaan voidaan lisätä yksityiskohtia, jotka eivät ole mallin geometriassa, mutta jotka kartan avulla reagoivat valoon ikään kuin ne olisivat. Tämä on hyödyllistä silloin, kun malliin halutaan pieniä yksityiskohtia, kuten naarmuja tai pieniä kolhuja, joiden mallintaminen lisäisi polygonimäärää todella paljon (Unity 2021).

Normaalikartan ”pohjaa” kuvastaa vaalean purppura väri, joka edustaa polygonimallin pintaa. Kartalla on lisäksi RGB-arvoja, joilla pintaan lisätään naarmuja ja kolhuja. R-, G- ja B-arvot vastaavat 3D-avaruudessa X-, Y- ja Z-koordinaatteja. Kun normaalikartan käyttöä suunnitellaan, on erityisen tärkeää kiinnittää huomiota UV-kartan luomiseksi käytettyjen saumojen paikkoja. Normaalikartat vaikuttavat paljon siihen, miten valo käyttäytyy mallin pinnan kanssa, ja näissä tapauksissa saumat voivat olla todella silmiin pistäviä (Denham 2022).



Kuva 5. 3D-kirjan normaalikartta Substance Painter:issa.

Normaalikartta luodaan yleensä low-poly-mallille sen high-poly-versiosta, jossa yksityiskohtien määrä on usein korkeampi. High-poly-malli projisoidaan low-poly-mallin päälle ja beikataan normaalikartalle, joka voidaan lisätä low-poly-mallilla käytettävään materiaaliin. Näin korkeamman polygonimäärän mallin yksityiskohdat näkyvät tekstuurissa, mutta geometria tai polygonimäärä eivät muutu.

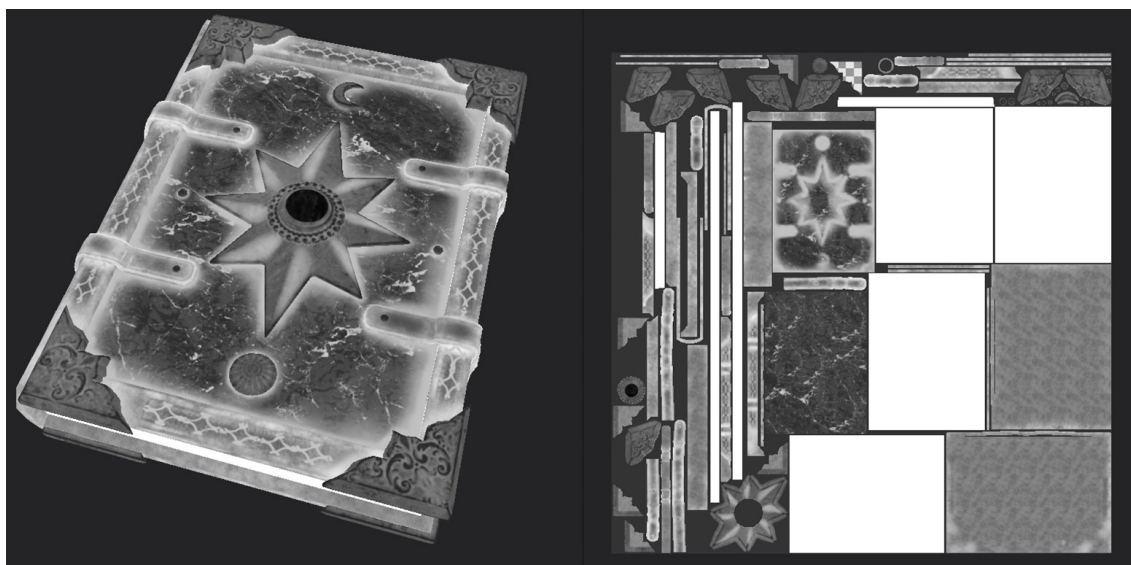
Vaihtoehto normaalikartan käytön sijaan on käyttää bump-karttaa (bump map). Normaali- ja bump-kartan päätehtävä on sama: geometrian normaalien käyttäminen illuusion luomiseksi, missä 3D-mallin pinnalla näyttää olevan enemmän yksityiskohtia ilman, että geometria monimutkaistuu. Suurin ero karttojen välillä on, että bump-kartat käyttävät mustavalkoisia arvoja, normaalikarttojen RGB-arvojen sijaan (Pluralsight 2014).

### 3.4.3 Metallisuus, spekulari ja karheus

Yksinkertaisuudessaan metallisuuskartta (metalness map) määrittää 3D-mallin metallisuutta. Metallisuuskartat ovat mustavalkoisia, joissa musta väri tarkoittaa, että kartta poimii värin suoraan albedokartasta. Valkoinen väri tarkoittaa, että kartta poimii yhä värin albedosta, mutta käyttää sitä nyt määrittämään heijastusten värin ja kirkkauden (Denham 2022).

Metallisuuskartat ovat käteviä simuloimaan realistisia materiaaleja, mutta niiden kytkös albedoon voi aiheuttaa rajoituksia teksturoinnissa. Metallisuuskartan sijaan voidaan kuitenkin käyttää spekulaarikarttaa (specular map), joka määrittää 3D-mallin pinnan heijastavuuden (Denham 2022). Spekulaarikartta on metallisuuskartan lailla mustavalkoinen, mutta ei ole sidottuna albedoon. Mitä valkoisempi piste on tekstuurikartalla, sitä kiiltävämpi on myös vastaava piste mallin pinnalla. Vastaavasti vähemmän heijastavan materiaalin spekulaarikartta on paljon tummempi kuin paljon heijastavan materiaalin (Van der Walt 2020).

Spekulaarikartta siis määrittää, kuinka näkyviä 3D-mallin pinnan heijastukset ovat. Toisen samankaltaisen kartan, karheuden (*roughness*), avulla voidaan määrittää, kuinka epätarkkoja heijastukset ovat. Karheuskartta on myös mustavalkoinen kartta (kuva 6), jossa valkoiset alueet näyttävät mallin pinnalla mattaisilta ja tummat alueet kiiltävämiltä (FolksTalk n.d).

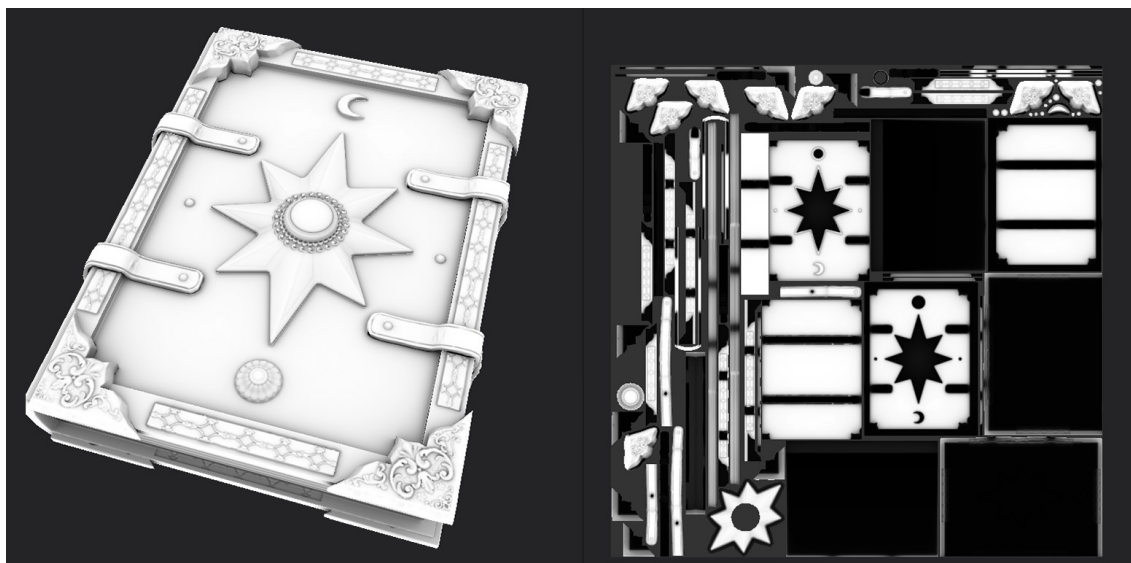


Kuva 6. 3D-kirjan karheuskartta.

#### 3.4.4 Ympäristövalo

Ympäristövalokartta (ambient occlusion map) yhdistyy renderointihetkellä albedokartan kanssa määrittämään valon määrää 3D-pinnalla. Ympäristövalokartta

on mustavalkoinen kartta, jossa vaaleammat alueet ovat eniten valossa, ja tummat varjossa (Denham 2022).



Kuva 7. 3D-kirjan ympäristövalokartta.

Ympäristövalokartan avulla malli saadaan näyttämään realistisemmalta, koska se ottaa huomioon ympäristön epäsuorat valot ja varjot. Ympäristövalokartassa ne paikat, jotka ovat muun geometrian peitossa, ovat yleensä tummempia ja täten enemmän varjossa. Ympäristövalo on yleensä sisälletty ei-PBR-teksturoinnissa diffuusikarttaan.

### 3.4.5 Emissiivisyys

Emissiivisyyskartat ovat albedokartan kaltaisia väriä sisältäviä kuvakarttoja, mutta niiden erikoisuus on emitoida valoa. Tämä on hyödyllistä, jos tekstuuriin halutaan liittää valoa hohtavia osia, kuten pieniä LED-lamppuja tai muita valoeffektejä. Emissiivisyyskarttojen avulla voidaan valaista kokonaisia 3D-tiloja, mutta valaisu on yleensä paljon helpompaa ja kannattavampaa hoitaa 3D-ohjelman omilla lampuilla (Denham 2022).

Emissiivisyyskartat mahdollistavat tekstuurin näkymisen, vaikka 3D-ympäristössä ei olisi valoja. Lisäksi, kun malli on täysin emissiivinen, sen pintaa ei voi varjottaa muiden valojen avulla. Emissiivisyyskartan avulla voidaan luoda yksinkertainen ja nopea sarjakuvamaista shaderia muistuttava ilme, kun tekstuuri, johon



valot ja varjot on maalattu käsin, asetaan materiaalissa emissiiviseksi. Tämän opinnäytetyön projektiosuudessa diffuusikarttaa käytetään emissiivisyyskartan tavoin tällaisen ilmeen aikaansaamiseksi.

### 3.5 Teksturointitavat

Tekstuurien luomiseen on useita erilaisia menetelmiä, joista teksturointitaiteilija voi valita käyttötarkoituksen tai oman mieltymyksensä kannalta parhaimman mahdollisen, tai yhdistellä useita tekniikoita haluamansa tuloksen tavoittamiseksi (Adobe 2022). Tämä opinnäytetyö keskittyy erityisesti käsinmaalattuun tekniikkaan, mutta tässä luvussa esitellään myös esimerkkinä vaihtoehtoinen tapa valmistaa tekstuureja proseduraalisesti.

#### 3.5.1 Proseduraalinen teksturointi

Tavallisesti tekstuurikartat ovat pikseleistä muodostuneita bittikarttoja, joilla on rajattu koko ja yksityiskohtien määrä. Tämä tarkoittaa, että tekstuuria suurentaessa sen terävyys pehmenee ja yksityiskohdat sumenevat, kun pikseleitä tarkastellaan suurempina (McComb n.d.). Proseduraaliset tekstuurit ovat matemaattisilla algoritmeilla luotuja tekstuurikarttoja, joilla ei ole rajoitettua kokoa tai orientaatiota, mutta joiden tiedostokoko säilyy suhteellisen pienenä. Proseduraalisesti luotua tekstuuria suurentaessa ohjelma laskee ja luo tekstuurin uudelleen samoja algoritmeja käyttäen ainoastaan skaalaa muuttaen, jolloin yksityiskohdat eivät kärsi suurennuksesta. Tällä tavalla luodut tekstuurit eivät myöskään ole riippuvaisia mistään ulkoisista tallennetuista tiedostoista, kuten kuvista, ja edes erillisiä UV-karttoja ei välttämättä tarvita 3D-malleille tekstuurien käyttöä varten. Proseduraalinen teksturointi säästää siis paljon työmäärää ja aikaa, ja useiden variaatioiden luominen vaatii taiteilijalta vain muutamien parametrien muuttamista. Tällainen muokkaus ei myöskään heitä hukkaan tunteja manuaalista maalaamista, kuten vastaavasti käsin maalattujen tekstuurien kohdalla saattaa käydä. Yksi proseduraalisen teksturoinnin hyötypuoli on myös se, että

algoritmit ja matemaattiset lausekkeet ovat helposti kopioitavissa ja uudelleen-käytettävissä useille eri tekstuurikartoille, vähentäen työmäärää entisestään (Cornelisse 2019).

Proseduraalinen teksturointi ei vaadi syvää ymmärrystä kuvataiteesta, maalaamisesta tai väriopista, ja on siitä syystä helposti lähestyttävä teksturointitapa, varsinkin kun monet proseduraalista teksturointia tukevat ohjelmat ovat visuaalisesti helppoja ymmärtää, eivätkä vaadi käyttäjää koodaamaan matemaattisia yhtälöitä itse. Perustieto parametrien merkityksistä yleensä riittää. Proseduraaliset menetelmät eivät kuitenkaan aina tarjoa tarpeeksi liikkumavaraa tai taiteilijan kaipaamaa kustomoitavuutta, ja ne eivät helposti yllä manuaalisesti tehdyn taiteen laatutasolle (Cornelisse 2019). Proseduraalista teksturointitapaa voidaan kuitenkin käyttää käsinmaalatun teksturointiprosessin pohjana nopeuttamaan työtä (Kervinen 2021, 40).

### 3.5.2 Käsinmaalattu teksturointi

Käsinmaalattu teksturointi tarkoittaa tekstuurien digitaalista maalaamista UV-kartalle tai suoraan 3D-mallin pinnalle. Tavallisesti mallia varten tehdään useampi tekstuurikartta määrittämään sen ominaisuuksia, mutta käsin maalatessa sisällytetään yleensä mahdollisimman paljon informaatiota yhdelle värikartalle, albedo-kartalle. Tämä tarkoittaa, että usein jopa valot ja varjot ovat maalattuna ainakin osittain suoraan tekstuuriin, jolloin 3D-ympäristön valaistus ei vaikuta niihin. Tekstuurien maalaus vaatii taitoa ja tarkkaa suunnittelua ja teknillistä ymmärrystä taiteilijalta. Taiteilijan pitää hallita maalaamisen perusteet, eli esimerkiksi valöörin, värin, muodon ja rakenteen perustaidot (Scott 2019).

Käsinmaalattu teksturointityyli antaa paljon mahdollisuuksia erilaisiin tyyliin visuaalisiin ilmeisiin. Käsin maalaamalla voidaan luoda esimerkiksi erittäin sarjakuvamaisia tekstuureja, jos halutaan tehdä tyyliä ja liioiteltua jälkeä, joka ei pyri realismiin. Tällöin usein myös 3D-mallit ovat muotokieleltään tyyliin. Vaihtoehtoisesti mallien muotokieli voi olla lähempänä realismia, mutta niihin liitetyt käsin maalatut tekstuurit luovat niille tyyliin ilmeen.



Kuva 8. Esimerkki tyylitellyistä käsinmaalatuista tekstuureista (Chen, 2017).

Käsin maalaamalla taiteilijalla on täysi hallinta tekstuurin yksityiskohdista ja näin ollen tekstuurin ja valmiin lopputuloksen laadukkuudesta. Tekstuuriin voidaan valojen ja varjojen lisäksi maalata myös yksityiskohtia, joita itse 3D-objektiin ei ole mallinnettu, jolloin objektin polygonimäärä voidaan pitää matalana. Käsinmaalatut tekstuurit sulautuvat helpommin myös täysin 2D:nä luotuihin elementteihin, kuten taustakuviin ja mattemaalauksiin, mahdollistaen ympäristötaiteen yksinkertaistamisen. Vaikka teknologia on kehittynyt ja tietokoneet onnistuvat käsittelemään jo todella korkean polygonimäärän malleja, monet projektit, erityisesti pelit, edelleen hyötyvät siitä, että mallit voidaan pitää mahdollisimman kevyinä ja valaistus yksinkertaisena.

Tekstuurien maalaaminen käsin on aikaa vievää ja vaatii taiteilijalta fundamentaalista osaamista maalaustaiteesta. Jos projekti sisältää paljon teksturoitavia 3D-malleja, teksturointiprosessi kestää kauan, sillä maalaus täytyy usein tehdä jokaiselle objektille erikseen käsityönä.



Kuva 9. Esimerkki käsinmaalatuista tekstuureista Disco Elysium -pelissä (Disco Elysium, 2019).

Tekstuurien maalausta varten 3D-mallilla täytyy olla mallinnusohjelmassa valmiiksi luotu UV-kartta. Itse tekstuurien maalausprosessi voi tapahtua missä tahansa digitaaliseen maalaamiseen tarkoitetussa ohjelmassa, kuten Photoshop:issa tai Krita:ssa, mikäli tekstuurit halutaan maalata perinteisesti 2D-tilassa. Tässä tapauksessa UV-kartta tuodaan maalausohjelmaan ja taitelija maalaa tekstuurit UV-kartan päälle. Tämän tavan hankala puoli on se, että esimerkiksi hahmoa teksturoidessa, tekstuurien lopullista ilmettä ei näe 3D-tilassa ennen kuin ne tuodaan 3D-ohjelmaan ja liitetään UV-kartoitettuun objektiin ja haluttavan lopputuloksen valvominen voi vaatia jatkuvaa ohjelmasta toiseen siirtymistä. Tekstuurit voi kuitenkin maalata myös ohjelmassa, joka mahdollistaa maalauksen suoraan 3D-mallin pinnalle. Monet 3D-mallinnusohjelmat, kuten Blender ja pääosin 3D-veistämistä tukeva ZBrush, sisältävät perustyökaluja tekstuurien maalausta varten, mutta siihen erikoistuneita ohjelmia on myös olemassa, kuten Substance Painter ja 3DCoat.

### 3.6 Kamera- ja tekstuuriprojisointi

Kameraprojisointi 3D-ympäristössä tarkoittaa yksinkertaisesti teksturointiin liittyvä tekniikkaa, jossa kolmiulotteisessa tilassa oleva kamera projisoi tekstuurikartan 3D-objektin geometrialle ikään kuin se olisi diaprojektori (Ganbar 2014, 324). Tekniikkaa voidaan ajatella myös käänteisellä tavalla: 3D-tila projisoidaan 2D-tekstuurille. Toisin sanoen, kameran avulla jokaisen 3D-tilassa olevan objektin verteksin sijainti projisoidaan tekstuurikartalle. Verteksin sijainnin muuttamiseksi 3D-tilasta 2D-tilaan tarvitaan siis matriisin muutos, jossa verteksin sijainnit kolmiulotteisessa tilassa muutetaan vastaamaan pisteitä kaksiulotteisessa kuvassa kameran kuvakulman perspektiivin mukaan (McKesson 2012). Aikaisemmin mainitut kameran avulla luodut UV-kartat ovat myös olennainen osa kameraprojisointia ja sen käyttöä teksturoinnissa.

Kameraprojektit voivat tarjota erittäin tehokkaan tavan teksturoida suuriakin 3D-kokonaisuuksia, riippuen niiden käyttötarkoituksesta. Jos taiteilija valmistaa 3D:n avulla ympäristön, kameraprojisointitekniikka voi olla nopea työkalu luoda laadukkaat tekstuurit, jos ympäristö on osa esimerkiksi osa animaatiota, jossa kameran liikettä on vähäisesti (Olof Storm 2019). Tapa toimii myös hyvin tyyli-tellyn ja maalauksellisen ilmeen aikaansaamiseksi, sillä se usein antaa taiteilijalle mahdollisuuden kirjaimellisesti maalata 3D-objektin 2D-kuvana ja käyttää tätä kuvaa suoraan tekstuurikarttana (Lightning Boy Studio 2020). Tämän opinäytetyön projektiosuudessa perehdytään syvemmin kameraprojisoinnin käyttöön teksturoinnissa ja havainnollistetaan, miten kameraprojektit voivat olla tehokas työkalu, varsinkin jos tavoitteena on saavuttaa maalauksellinen jälki.

## 4 Analyysi Arcane-sarjan visuaalisesta ilmeestä

Arcane on Riot Games'in ja Fortiche Production'in tuottama animaationsarja, joka julkaistiin Netflix-suoratoistopalvelussa syksyllä 2021 (Arcane). Sarja perustuu Riot Games'in *League of Legends*-videopeliin ja se sai mainion vastaanoton, yltäen myös ensimmäisenä kahtena päivänä julkaisustaan Netflix'in katso-

tuimmaksi sarjaksi (Hartikainen 2021). Tässä opinnäytetyön luvussa analysoidaan sarjan yleistä visuaalista ilmettä, animaatiota sekä teksturointityyliä. Analyysi perustuu suurilta osin omiin havaintoihini katsottuani itse Arcane-sarjan sekä Riot Games'in julkaiseman Bridging the Rift -dokumenttisarjan.

Arcane-sarjan animaatiosta on vastuussa ranskalainen animaatiostudio Fortiche Production. Sarjan animaatio ja yleinen visuaalinen ilme on sekoitus perinteistä 2D-maalauksta sekä 3D-elementtejä. 3D-hahmojen ja -proppien teksturointijälki on erittäin tyyllitelyä ja maalauksellista, joka mahdollistaa näiden kolmiulotteisten elementtien lähes saumattoman sulauttamisen sarjan ympäristöissä käytettyihin 2D-mattemaalauksiin, -taustakuviin sekä -animaatioon, jota esimerkiksi lähes kaikki erikoisefektit sarjassa ovat (League of Legends 2022). Sarjaa katsoessa onkin välillä vaikeaa täydellä varmuudella sanoa, mitkä osat todella ovat 3D-tilassa olevia malleja, jotka on teksturoitu näyttämään kaksiulotteisilta maalauksilta, ja mitkä todellisia 2D-maalauksia.

3D-hahmojen ja -proppien teksturointityylissä on selkeästi haluttu säilyttää käsityön jälki: siveltimenvedot ja piirretyt viivat on jätetty tahallaan selkeästi havaittaviksi, eikä niitä ole yritetty esimerkiksi häivyttää realistisuuden saavuttamiseksi. Lähes kaikki tekstuurit on todennäköisesti maalattu käsin taiteilijan toimesta. Tämä tyyli on yhdistetty hahmojen ja proppien puolirealistiseen muotokieleen sekä sarjakuvamaiseen shaderiin, mikä lisää sarjan visuaalista vaikuttavuutta sekä edesauttaa 2D:n ja 3D:n sulauttamista toisiinsa. Monet sarjan 3D-mallit on myös mallinnettu geometrialtaan epätäydellisiksi ja asymmetrisiksi, mikä luo uskottavamman ja visuaalisesti mielenkiintoisemman ilmeen (kuva 10).



Kuva 10. Esimerkkejä Arcane-sarjan muotokielestä ja teksturointityylistä (Arcane, 2021).

Arcane-sarjan animaatio tukee myös tyyliteltyä yleisilmettä. Kaikki hahmojen animaatio on toteutettu aikaa vaativalla kehysanimaatiotekniikalla, eikä motion capturea, eli näyttelijän liikkenkaappausta, ole käytetty hahmoanimaation pohjana laisinkaan (League of Legends 2022). Hahmoanimaatiossa on käytetty myös muita, tavallisesti tyylitellylle 2D-animaatiolle tyypillisiä tehokeinoja, kuten luiden rikkomista, litistämistä ja venyttämistä hahmon realististen mittasuhteiden rajojen yli. Kuten perinteisessä animaatiossa, näitä keinoja on käytetty tuomaan sarjan toimintaan vaikuttavuutta ja painontuntua sekä helpottamaan visuaalista luettavuutta. Keinoja käytetään kuitenkin maltillisesti ja lähes huomaamattomasti, ja toimintakohtausten ulkopuolella animaatio on hillittyä ja hahmojen ilmeet on esimerkiksi animoitu erittäin tarkkaan ja realistisesti hahmojen tunteiden sekä sarjan vakavamman tunnelman välittämiseksi. Fortiche Production:in tyylille ominaisesti Arcane:ssa erikoiseffektit, kuten savu ja räjähdykset (kuva 11), on animoitu 2D-piirrosanimaatiotekniikalla. 2D-animaatio on siis liitetty

muuhun kuvaan jälkikäteen, ja se on digitaalisesti maalattu kuva kuvalta animaattorin toimesta.



Kuva 11. Esimerkkejä Arcane-sarjan 2D-erikoisefekteistä (Arcane, 2021).

2D-maalauksia on käytetty sarjassa runsaasti myös taustoissa ja ympäristöissä. Sen sijaan, että esimerkiksi hahmojen taustalla näkyvät rakennukset tai esineet, joiden kanssa hahmot eivät ole vuorovaikutuksessa, olisi mallinnettu 3D:ssä, ne on sen sijaan digitaalisesti maalattu 2D-kuvina, joita kutsutaan mattemaalauksiksi, ja yhdistetty sitten muuhun kuvaan. Useissa sarjan kohtauksissa voi huomata, että osa ympäristöstä, esimerkiksi kameran liikkeen takia useammasta kulmasta näkyvät elementit on mallinnettu 3D-objekteina, ja monet taustalla näkyvät ja paikallaan pysyvät osat ovat 2D-maalauksia. Nämä mattemaalaukset on usein aseteltu 3D-tilaan eri etäisyyksille kamerasta, jotta kuvaan saataisiin syvyyden tunnetta sekä parallaksi, eli se, miten lähempänä olevat objektit näyttävät liikkuvat nopeammin ja kauempana olevat hitaammin. Arcane:ssa kameran liike on mietitty tarkasti siten, että mattemaalauksia voidaan hyödyntää



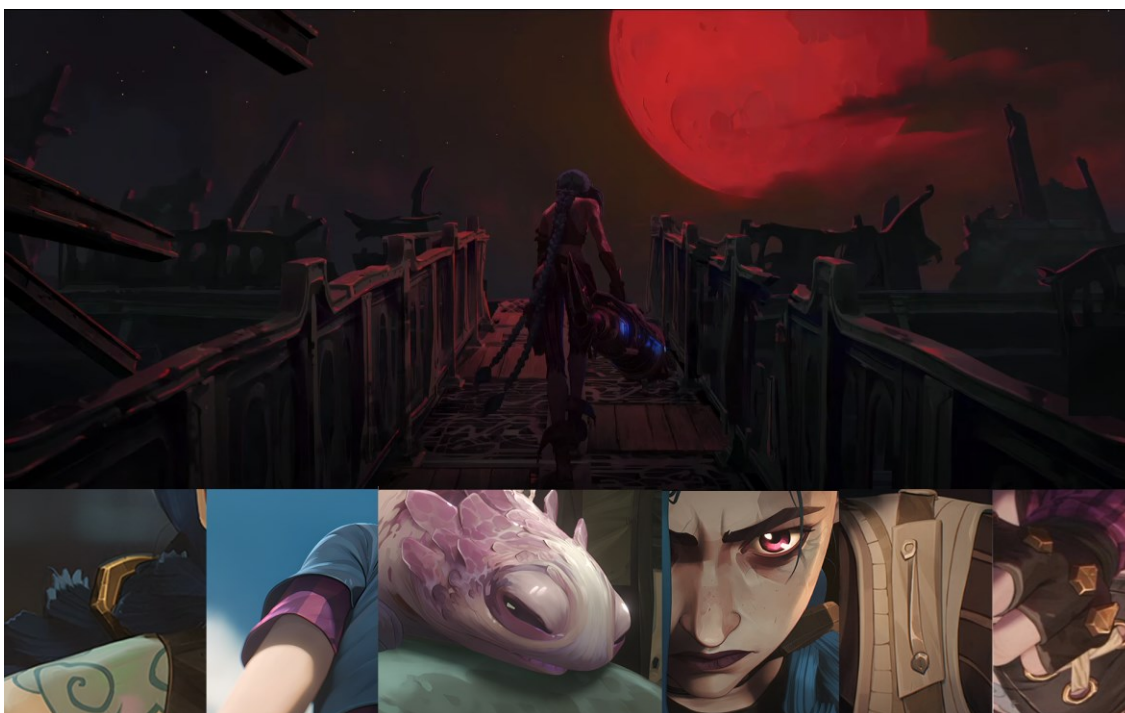
mahdollisimman paljon resurssien, kuten ajan, säästämiseksi (League of Legends 2022). Monessa kohtauksessa kameran liike onkin hyvin vähäistä tai pelkästään lineaarista eteen- ja taaksepäin liikkuvaa. Vaikka mattemaalausta hyödynnetään erityisesti taustoissa, Arcane:ssa useat etualan objektit ja propit ovat myös 2D -maalauksia. Mikäli hahmot eivät kohtauksessa ole suorassa vuorovaikutuksessa propin kanssa, se on todennäköisesti 2D-kuva. Kuvassa 12 on analysoitu kohtausta sarjassa, jossa kamera liikkuu suoraviivaisesti alaspäin ja kuvaa kaupunkinäkömää. Oranssilla merkityt sillat ja rakennukset, joilla hahmot kävelevät, ovat 3D-malleja, ja kameran liikkeen aikana ne rotatoituvat. Kuva sisältää lisäksi useita tasoja 2D-maalauksia, joista sinisellä on eroteltu muutamia etualalla ja 3D-elementtien takana olevia. Kaikkien 3D- ja 2D-elementtien taustalla on vielä ainakin yksi tai useampi taso 2D-maalauksia.



Kuva 12. Pohjalla kuva Arcane-sarjasta (Arcane 2021), johon on eritelty 3D-mallit ja 2D-kuvat havainnollistamaan mattemaalausten ja 3D-geometrian yhdistämistä. S

Mattemaalausten ja 3D-hahmojen sekä objektien yhdistämisen suurin haaste on valaistus. 2D-mattemaalaukset eivät saa tarkkoja valoja ja varjojaan 3D-tilaan asetetuista lampuista, vaan taiteilija on maalannut ne suoraan kuvaan. Kuvassa 13 hahmo ja lattia, jolla hahmo kävelee, ovat 3D:tä ja valaistu 3D-tilan valoilla. Sillan kaiteet ja muut taustan elementit taas näyttävät olevan 2D-maalauksia, joihin punaiset korostusvärit on maalattu käsin. 3D-mallien tekstuurit sisältä-

vät myös paljon käsinmaalatulle tavalle tyypillisesti suoraan tekstuuriin maalatuja valoja ja varjoja. Tämä on havaittavissa läpi koko sarjan hahmojen kasvojen varjoissa sekä useissa pienissä metallisissa esineissä, kuten koruissa, joissa metalliset heijastusvalot on maalattu käsin (kuva 13). Joissakin kohtauksissa nämä varjot myös vaihtelevat, ja hahmoilla on varjoja ja valoja, jotka liikkuvat hahmon pinnan mukana, eivätkä käyttäydy realistisesti valon kanssa.



Kuva 13. Havaintoja Arcane-sarjan maalatuista valoista ja varjoista hahmoissa, ympäristössä ja metallisissa vaatteiden osissa (Arcane, 2021).

Joitakin sarjan kohtauksia tarkkaan katsoessa voi myös huomata, että osa 3D-tilan valojen aiheuttamat varjot eivät näennäisesti muotoudu oikein pintojen mukaan, mikä johtuu siitä, että pinta on esimerkiksi tosiasiallisesti tasainen, ja siinä näkyvät pinnanvaihtelut ovat vain 2D-maalauksia, eivätkä kolmiulotteista geometriaa.

Arcane:ssa on mattemaalauksen lisäksi todennäköisesti hyödynnetty paljon kameraprojektioita sekä suoraan kuvan päälle maalausta. Erityisesti useasti toistuvat lokaatiot ja tapahtumapaikat, joissa kamera liikkuu enemmän, tarvitsevat jatkuvuuden ja työmäärän kannalta enemmän 3D-malleja pelkkien maalausten

sijaan. Vaikka toistuvissa ympäristöissä käytettäisiin paljon käsin maalaamista, pohjalla on kuitenkin todennäköisesti lähes aina kolmiulotteisista objekteista koostuva pohja. Näin taiteilijan ei tarvitse miettiä alusta alkaen perspektiiviä, ja myös valaistukseen voi saada helpotusta 3D-pohjalta.

Useissa oloissa 3D-mallin tekstuurit näyttävät erilaisilta eri kuvakulmista. Eräässä kohtauksessa nähdään arkku, jonka vuorovaikutus hahmon kanssa paljastaa sen olevan 3D-objekti. Hetkeä myöhemmin samassa kohtauksessa arkusta näytetään lähikuva, jossa erityisesti muttereita vertaamalla aikaisempaan kuvaan voi huomata, että tekstuurit eivät ole samanlaiset. Lähikuvaan on lisätty yksityiskohtia, sekä maalattuja varjoja ja valoja, joita kauempaa katsotussa arkussa ei ollut (kuva 14). Joko päälle maalamalla, tai kamerasta uutta tekstuuria projisoimalla on tehty uusi teksturi (Lighting Boy Studio 2022).



Kuva 14. Esimerkki tekstuurin muutoksesta kuvakulmien välillä (Arcane, 2021).

Samanlaisia kameraprojisoinnin ja käsinmaalattujen tekstuurin yhdistelmiä sekä kuvakulmien välillä tekstuuriin vaihteluita on helppo huomata sarjan kohtauksessa, jossa hahmot ovat ruokapöydän äärellä, jonka päällä on useita eri proppeja (kuva 15). Kohtauksessa kamera liikkuu paljon ja näyttää pöytää useista eri kulmista, välillä propit myös liikkuvat. Proppien tekstuurit näyttävät muuttuvan eri kuvakulmien välillä, joissakin näyttävän todella yksinkertaisilta, kun taas toisissa niissä on enemmän yksityiskohtia. Kohtausta katsoessa vaikuttaa siltä, että objektit pöydällä ovat 3D:tä, joille on tehty käsin maalatut teks-

tuurit, ja joille on saatettu tehdä useampia tekstuureja eri kuvakulmista. Joistakin kuvakulmista näyttää myös siltä, että propit on korvattu kokonaan 2D-maalauksilla.



Kuva 15. Eri kuvakulmia pöydällä olevista 3D-malleista (Arcane, 2021).

## 5 Projektiosuus

Tässä luvussa esittelen projektin, jossa käytän aikaisemmissa luvuissa esiteltyjä teksturointiin ja kameraprojisointiin liittyviä menetelmiä. Projektin päämäärä on mallintaa yksinkertainen 3D-proppi, joka teksturoidaan käsinmaalatulla tekniikalla, jäljitellen ja havainnollistaen Arcane-sarjan visuaalista ilmettä. Tarkoitus on keskittyä käsinmaalatun teksturointityylin ja kameraprojisoinnin hyödyntämiseen ja niillä visuaalisen kokonaisuuden luomiseen, eikä esimerkiksi tarinankerontaan. UV-kartoituksessa ja teksturoinnissa käytän apuna 3D-tilassa kameran kuvakulmaa ja siitä projisoituja karttoja ja renderöityjä kuvia. Luvussa esittelen työprosessin vaiheet ja niiden aikana esiintyneitä ongelmia sekä korjauksia niihin.

## 5.1 Suunnitteluvaihe

Projektin suunnitteluvaiheessa tärkein vaihe oli päättää, minkälaisen esineen valitsen mallinnettavaksi ja teksturoitavaksi. Koska projektin tavoite oli pääosin keskittyä teksturointiin, halusin valita kohteeksi tarpeeksi yksinkertaisen ja arki- esineen, jossa tekstuurit pääsisivät hyvin esille. Lopuilta näiden kriteerien perusteella päädyin valitsemaan projektin aiheeksi yksinkertaisen teekannun.

Ennen mallinnusvaihetta keräsin referenssikuvia erilaisista teekannuista (kuva 16). Vaikka projekti ei esimerkiksi keskity tarinankerrontaan ja kyseessä ei ole erikoinen esine, koen että kaikessa visuaalisessa työssä on tärkeää oppia ja katsoa mallia siitä, mitä yrittää jäljitellä. Referenssit helpottavat ja nopeuttavat muita projektinvaiheita ja auttavat pääsemään eteenpäin monista ongelmakohdista, vaikka kyseessä olisikin yksinkertainen esine, josta taiteilijalla saattaa olla jo vahvat skeemat. Koska pyrin projektissa jäljittelemään Arcane-sarjan puoli- realistista visuaalista ilmettä, valitsin teekannun referensseiksi pääosin kuvia oikeista, realistista teekannuista. Näiden kuvien tarkoitus on helpottaa mallinnusvaiheessa, eikä tarkoitukseni ollut seurata vain yhtä referenssiä tarkasti.



Kuva 16. Kerättyjä referenssikuvia teekannuista.

Teksturointivaihetta varten keräsin referensseiksi sarjassa työskennelleiden taiteilijoiden julkaisemia kuvia propeista, joita sarjaa varten oli mallinnettu ja teksturoitu (kuva 17). Nämä referenssit tulisivat auttamaan realistisen muotokielen, mutta samalla Arcane:lle tyypillisen maalauksellisen ja tyylitellyn teksturointijäljen aikaan saamiseksi.



Kuva 17. Referenssikuvia Arcane-sarjan tekstuureista (Arcane 2021; Vidal 2022)

## 5.2 Propin mallintaminen

Kun referenssikuvat oli kerätty, aloin mallintaa proppia Blender:issä. Perinteistä polygonimallinnustekniikkaa käyttäen onnistuin nopeasti mallintamaan kaksi erilaista teekannua referenssikuvien pohjalta.

Mallit olivat erittäin kevyitä ja polygonien määrä pysyi vähäisenä. Koska teekannun mallia ei ole tarkoitettu mihinkään tuotantoon, kuten peliin, polygonimäärällä ei ole juurikaan väliä, ja se olisi voinut olla huomattavasti korkeampi, mutta halusin pitää mallin helposti käsiteltävänä ja yksinkertaisena UV-kartoitusta ja 3D-ohjelmien suorituskykyä ajatellen. Low-poly-mallin hyvänä puolena koin myös sen, että polygonien määrää olisi destruktiivisempaa vähentää kuin lisätä myöhemmin, mikäli sille tulisi tarvetta. Tässä projektissa en kokenut tarpeelliseksi tehdä mallille high-poly-vastinetta, sillä teksturointivaiheessa tarkoitus on keskittyä vain käsin maalaamiseen yhdelle tekstuurikartalle. Tavallisesti high-poly-mallia tarvittaisiin esimerkiksi normaali- ja okkluusiokarttojen beikkaukseen.



Kuva 18. Kaksi teekannun 3D-mallia.



UV-kartoitukseen ja teksturointivaiheeseen valitsin teekannumalleista toisen, jossa kahva oli kannen yläpuolella (kuva 18). Omasta mielestäni se oli visuaalisesti mielenkiintoisempi ja tyylikkäämpi, ja koin sen sopivan paremmin Arcane-sarjan maailmaan.

## 5.3 Teksturointi

### 5.3.1 Tekstuurien maalaus

Teksturointivaiheen aluksi asetin 3D-skeneen valon ja asetin kameran resoluution 4096 x 4096 pikselin neliöksi. Vaihdoin myös projektin world-colorin ruskeaksi, koska halusin sen sitovan kokonaisuuden väripalettia yhteen. Muutamien testailujen jälkeen löin lukkoon kameran kulman, josta teekannu näytti hyvältä ja josta teksturointi olisi helppoa.

Perinteisesti teksturoidessa tekisin kannulle nyt UV-kartan, mutta tarkoitukseni on projisoida tekstuurit teekannulle kameran kautta. Ennen kuin aloitin minkäänlaista UV-kartoitusta, renderoin ohjelman ikkunasta kuvan, jonka siirsin maalausta varten Procreate-digimaalausohjelmaan. Procreate on itselleni mieluisin ja tutuin maalausohjelma, mutta tässä vaiheessa voisi käyttää mitä tahansa muutakin maalausohjelmaa, esimerkiksi Photoshop:ia.

Aloitin maalaamisen pohjaväristä ja tummimmista varjoista renderoidun kuvan päälle. Kuva toimi ikään kuin kaavana ja auttoi saamaan teekannun kolmiulotteisen muodon esille. Kun muoto oli selkeämpi, aloin käyttää suunnitteluvaiheessa keräämiäni teksturointireferenssejä apunani ja yritin luoda tekstuuriin Arcane:lle tyyppillistä maalauksellisuutta, sekä sarjan maailmalle ominaista epätäydellisyyttä ja tuntua siitä, että esineet ovat nähneet ikää ja käyttöä (kuva 19).

Kun olin tyytyväinen jälkeen, pyrin vielä saamaan teekannulle metallista tuntua maalaamalla kirkkaampia korostusvärejä, sekä heijastuksenomaisia värejä teekannun pyöreään pintaan. Halusin käyttää työssä vain yhtä tekstuurikarttaa, joka sisältäisi teekannun ominaisuudet kuten valot, varjot ja metallisuuden maa-

lattuna, sen sijaan, että olisin tehnyt näille ominaisuuksille erilliset tekstuurikartat tai valaissut mallin 3D-ympäristön valoilla. Päätin jättää teekannun tekstuurin väliaikaisesti tähän vaiheeseen, ajatuksena palata hiomaan sitä vielä myöhemmin (kuva 19).



Kuva 19. Teekannun tekstuurin maalaus vaiheittain.

Lopuksi maalasin kannun alle vielä nopean vaikutelman tasosta, jolla teekannu istuisi (kuva 19). Täten maalasin teekannulle myös varjon, mutta totesin pian, että jos haluaisin realistisemmän valaistuksen, voisin taas käyttää 3D:tä apunani. Joten, siirryin takaisin Blender:iin, jossa mallinsin nopeasti kaksi litteää tasoa: toisen teekannun alle, johon 3D-tilaan luodun lampun valo heittäisi varjon, ja toisen, johon mallinsin neliön muotoisen aukon, jonka läpi valo pastaisi, ikään kuin ikkunan läpi.

Kokeilin muutamia erilaisia asetelmia, jossa aukon läpi paistava valo loisi mielenkiintoisen valotuksen, ja kun viimein olin tyytyväinen, renderöin jälleen ikkunasta kuvan, jonka siirsin maalausohjelmaan. Procreate:ssa lisäsin valoreferenssin taustan sekä teekannun päälle erilliselle tasolle, asetin sen sekoitustilaksi väriläpävalotuksen ja säädin kuvan valaistusta käyrien avulla (kuva 20). Lo-

puksi maalasin hieman oranssia hohtoa vielä valon ja varjon reunalle manuaalisesti, sillä olin huomannut tämän kaltaista tyyliä Arcane:ssa erityisesti käsin maalattujen varjojen reunoilla, ja halusin jäljitellä sitä.



Kuva 20. Valaistusreferenssi ja valaistu tekstuurikartta.

### 5.3.2 UV-kartoitus kameran avulla

Tekstuuriin lisäämiseksi teekannuun ja lattiaan tarvitsin niille UV-kartoituksen. Perinteisellä tavalla valitsisin ja leikkaisin 3D-objektin reunat saumoiksi, mutta koska olen maalannut tekstuurit kameran kuvakulmasta, UV-kartan täytyy vastata samaa kuvakulmaa.

Blender:issä UV-kartan projisointi kamerasta on helppoa, ja onnistui hyvin niin teekannulle kuin "lattiallekin". Lisäsin seuraavaksi maalaamani tekstuurin teekannuun ja lattiaan. Koska UV-kartta ja kameran kautta renderoidun kuvan avulla maalattu tekstuuri vastaavat täydellisesti toisiaan UV-koordinaatistossa, teksturoitu malli näyttää identtiseltä tekstuurikartan kanssa (kuva 21). Teekannuun tekstuurin lisääminen onnistui ilman ongelmia, mutta lattia vaati sen, että jaoin sen tahkot useampaan osaan, eli lisäsin polygoneja, jotta tekstuuri asettui lopulta paremmin sen pinnalle. Asetin objektien shaderin emissiiviseksi, jotta valaisuun käytetty lamppu ei enää valaisisi niitä nyt kun olen maalannut valot

suoraan tekstuuriin.



Kuva 21. Teekannun ja tason UV-kartta, sekä teksturoitu teekannu.

## 5.4 Viimeistely

### 5.4.1 UV-karttaongelmien korjaaminen

Ensimmäinen ongelma UV-kartan projisoinnin kanssa ilmeni siinä, että koska teekannu ja lattia käyttivät samaa tekstuuria, ja jakoivat samat koordinaatit tekstuurikartalla, teekannun kuva näkyi sen takana lattialla, joka on havaittavissa heti, jos kameraa liikutetaan niin, että teekannun taakse näkee. Yksinkertaisin korjaus tähän ongelmaan oli se, että maalasin tekstuurista version, josta poistin teekannun manuaalisesti maalaamalla parhaani mukaan. Loin sitten lattialle oman materiaalin, johon vaihdoin tämän uuden tekstuurikartan vanhan tilalle.

Hienosäädin tässä vaiheessa myös tekstuurin värejä, jotta se sulautui paremmin Blender:in world-coloriin (kuva 22).



Kuva 22. Vääristyneet tekstuurit ja korjattu tekstuuri lattiassa.

#### 5.4.2 Useamman UV-kartan käyttö

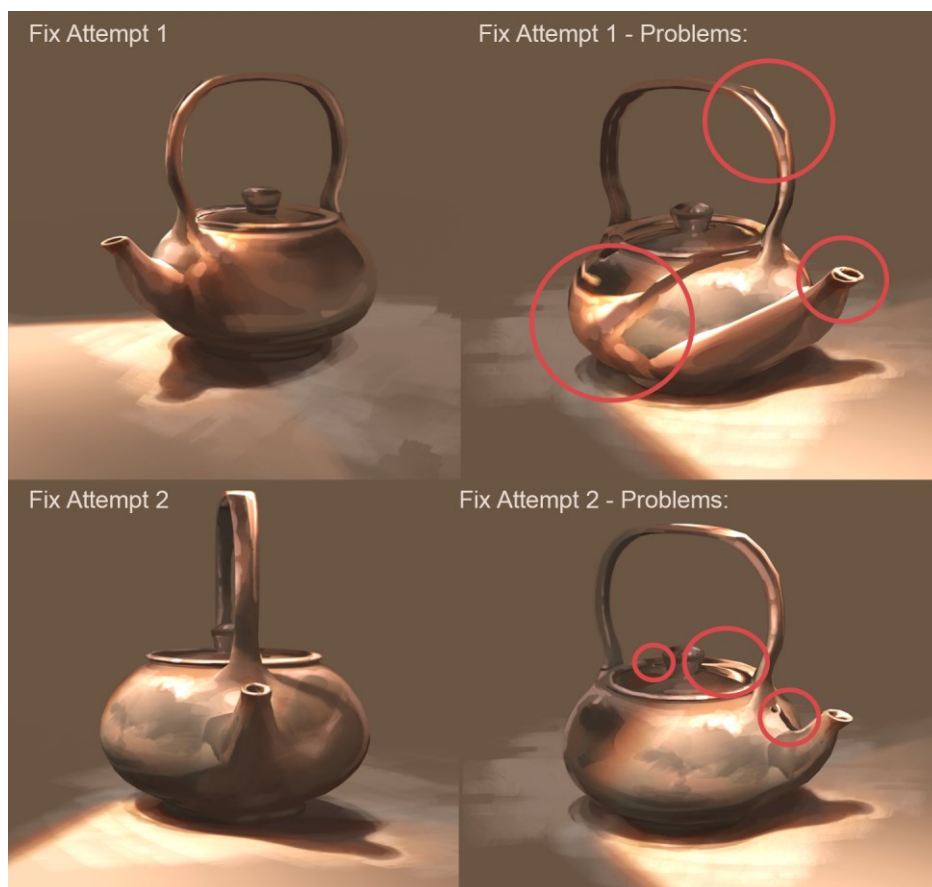
Toinen selkeä ongelma oli itse teekannun tekstuuri sen toisella puolella. Koska kameraa lähempänä olevat 3D-objektin pinnan verteksit jakoivat samat koordinaatit kamerasta kauempana olevien verteksien kanssa UV-kartalla, sama tekstuurikartta heijastui kummassakin paikassa, mutta takapuolella se ei istunut mallin pinnalla toivotulla tavalla ja oli venynyt oudon näköiseksi (kuva 22).

Yksi ratkaisu ongelman korjaamiseksi oli tehdä mallille toinen kamerasta projisoitu UV-kartta. Tein siis toisen kamerasiirron, siirsin sen teekannun toiselle puolelle ja toistin aikaisemmin tekemäni vaiheet, mutta varmistin, että lisäsin Blen-

der:issä kannulle uuden UV-kartan. Procreate:ssa maalasin uudet tekstuurit ongelmakohdan päälle ja tallensin muutokset läpinäkyvänä tekstuurikarttana. Blender:in puolella lisäsin *Mix RGB*-solmun avulla tämän uuden tekstuurikartan teekannun materiaaliin, käyttämällä tällä kertaa uutta, eri kulmasta luotua UV-karttaa tekstuurin asettamiseen. Hyvä puoli läpinäkyvässä tekstuurikartassa oli se, että kaikki paikat, joihin en maalannut uutta tekstuuria säilyttivät alla olevan alkuperäisen tekstuurin, ja uusi tekstuuri sulautui siihen melko hyvin. Kamerasta projisoitu UV-kartta tosin aiheutti saman ongelman kuin aikaisemmin, koska en ottanut huomioon kuvakulmaa, josta sen projisoitiin, tekstuuri päätyi taas teekannun vastakkaiselle puolelle ja venyi (kuva 23). Tällä yksinkertaisella tekniikalla siis jostakin objektin puolesta tulisi välttämättä vääristynyt.

Toisella yrityksellä yritin valita teekannusta kuvakulman, joka ei eroaisi paljoa ensimmäisestä, ja voisin kohdentaa tekstuurivääristymät vain yhdelle puolelle ja minimoida vääristymisen määrän. Tällä tavalla kamera voisi edes hieman kiertää kannua, vaikka jollakin puolella tekstuurit eivät näyttäisikään täydelliseltä. Päätin asettaa kameran osoittamaan teekannun nokan suunnasta. Tällä kertaa teksturointi ja karttojen yhdistäminen onnistui paremmin, eikä alkuperäisen tekstuurin päälle tullut paljoa vääristymiä, mutta koska teekannun muoto ei ole tar-

peeksi yksinkertainen ja monet osat ovat edelleen päällekkäin, joitakin tekstuuriväärityksiä ilmeni kuitenkin (kuva 23).



Kuva 23. Uudet kameran avulla projisoidut tekstuurikartat ja tekstuurin venymiset kannun pinnalla.

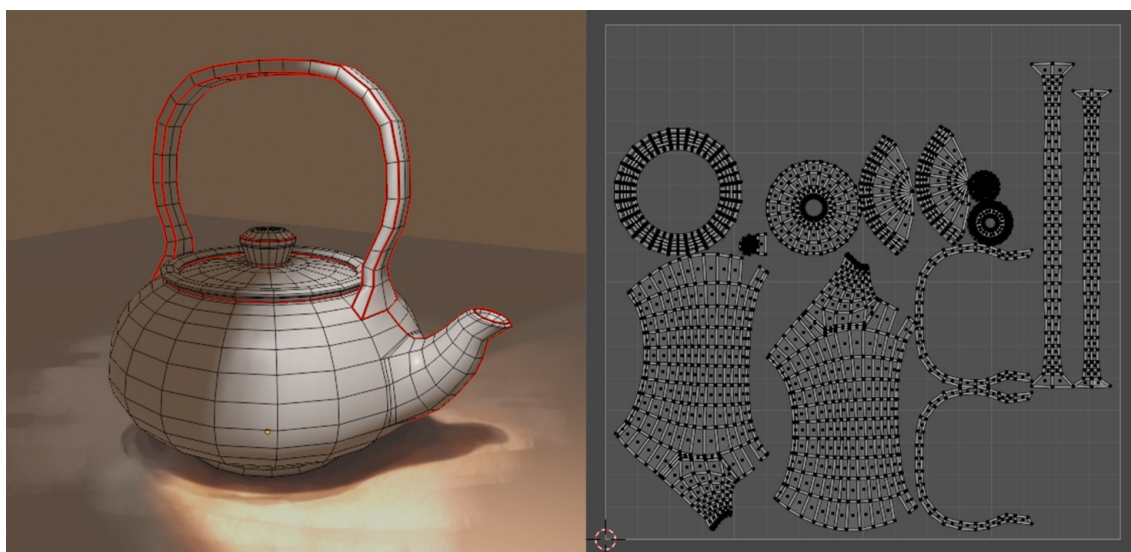
Useamman UV-kartan käyttö voisi toimia paremmin yksinkertaisemman objektin tekstuurikorjauksissa, mutta siinäkin tapauksessa objektista näytettävä tekstuuriltaan laadukas pinta-ala olisi rajattu. Kamerakulmaa voisi yrittää etsiä niin, että vääristymät olisi minimoitu, ja lopullisesta työstä tulisi ehkä hyväksyttävän laatuinen, mutta päätin itse jatkaa seuraavaan korjausvaihtoehtoon.

#### 5.4.3 Tekstuurien beikkaus

Kameraprojisoidut tekstuurit voidaan Blender:issä beikata yhdelle UV-kartalle kameran avulla, vaikka ne olisi tehty useamman kameran kuvakulmista. Tämä

tarkoittaa, että objektin voi UV-kartoittaa perinteisellä tavalla valitsemalla saumat ja "käärimällä" sen auki, ja sen jälkeen käyttää kameraa havaitsemaan tekstuurit 3D-objektin pinnalla ja beikkaamaan ne siististi käärittyyn UV-kartaan. Tällä tavalla kameraprojisoitujen UV-karttojen ongelmat, nimellisesti useiden polygonien jakamat UV-koordinaatit voidaan ohittaa.

Aloitin siis prosessin valitsemalla teekannun UV-kartan saumat. Pyrin asettamaan saumat teräville reunoille ja paikkoihin, joissa ne eivät kiinnittäisi liikaa huomiota tai vääristäisi tekstuuria. Säilytin teekannun vanhat projisoinnin avulla tehdyt UV-kartat, ja loin tämän uuden kartan beikkausta varten (kuva 24).

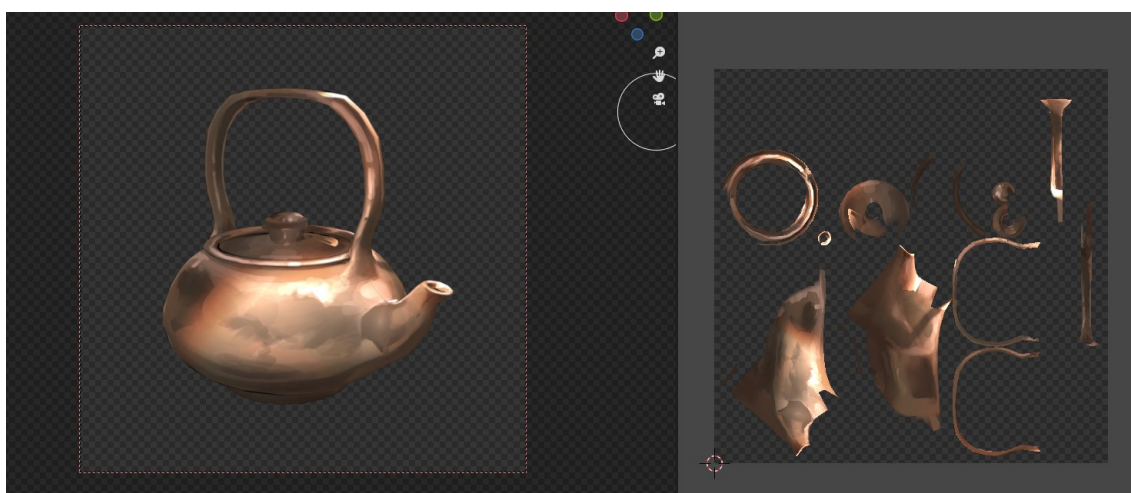


Kuva 24. Teekannun saumat ja levitetty UV-kartta.

Ennen beikkausta loin vielä materiaalieditoriin tyhjän kuvatekstuurin, jonka resoluutioksi asetin samaksi kuin tämän projektin kameran resoluution, eli 4096 x 4096 pikseliksi ja varmistin, että tekstuuri oli läpinäkyvä. Tämä kuva, joka tois-taiseksi oli tyhjä, toimisi tekstuurikarttana, johon kameran avulla tekstuurit voitai-siin beikata. Loin tilaan vielä tämän uuden kameran, jonka avulla projisoidut tekstuurit beikataan yhdelle UV-kartalle. Piilotin tilasta kaiken muun, paitsi tee-kannun ja muutin myös taustan läpinäkyväksi, jotta kamera lukisi ikkunasta vain teekannun tekstuurit (kuva 25).



Beikkaus alkoi kameran kuvakulman asettelulla niin, että teekannu ja sen tekstuurit näkyisivät hyvin. Valitsin alkuperäisen projisoidun tekstuurin ja kamerakulman, koska se oli paras pohja aloittaa. Blender:in sisäisen tekstuurimaalaustyökalun optioista valitsin näytönkaappaustoiminnon, joka lähettää kamerasta napatun kuvan suoraan valitsemaani kuvanmuokkausohjelmaan, omassa tapauksessani Photoshopiin. Photoshopissa tallensin kuvan ja palasin Blender:iin, jossa sama näytönkaappaustoiminto voi nyt beikata tekstuurit juuri otetun kuvan perusteella näitesti käärittyn UV-karttaan. Nyt kaikki käärityn UV-kartan osat, jotka kamera näki kuvakulmasta, sisältävät tekstuurikartan osan, jonka se poimi kuvasta (kuva 25).



Kuva 25. Teekannu kameran kuvakulmasta ja UV-kartta, jolle tekstuuri on kameran avulla osittain beikattu.

Jos teekannua nyt kiersi, kaikki alueet joihin kamera ei nähnyt olivat mustia eivätkä sisältäneet tekstuuria (kuva 26). Olisin voinut käyttää alkuperäistä tekstuuria myös niiden osien beikkaukseen, mutta kuten aikaisemmin todettiin, alkuperäinen tekstuuri vääristyi teekannun toisella puolella. Tein kuitenkin useita eri kameraprojektioita eri kulmista, joita pystyin nyt käyttämään koko teekannun tekstuurien beikkaamiseen. Vaihdoin teekannun materiaaliin syötettävää tekstuurikarttaa aikaisemmin maalaamieni karttojen välillä ja valitsin kamerakulmia, joista ne näyttivät parhaimmilla, ja toistin aikaisemmin tekemäni beikkausvaiheet jokaisen tekstuurin kohdalla. Näin beikattu tekstuuri rakentui useammasta erillisestä kuvasta yhdelle kartalle, ja teekannua kiertäessä mikään tekstuureista

ei enää heijastunut teekannun väärälle puolelle, vaan pelkästään sille, jonka kamerasta kaapattu kuva näyttää (kuva 26).



Kuva 26. Teekannu useasta kulmasta beikattujen tekstuurien kanssa ja kuvakulmasta, jossa beikkausta ei ole tehty.

Koska minulla oli tässä vaiheessa vasta kolmesta eri kuvakulmasta maalattua tekstuuria, useat alueet teekannusta jäivät vielä mustiksi, ja ilman tekstuuria, mutta projektia oli helppo jatkaa palaamalla takaisinpäin ja tekemällä lisää kameraprojektioita ja tekstuurikarttoja puuttuvilta alueilta, jotka sitten lopulta beikattaisiin myös tekstuuriin. Lopullisen teekannun tekstuuri koostui siis vain yhdestä tekstuurikartasta, joka oli koottu usean eri kameraprojisoidun maalauksen yhdistelmästä. Opinnäytetyön liitteenä on kuvia lopullisesta renderoidusta teekannusta (ks. liite 1).

## 6 Yhteenveto ja pohdinta

Opinnäytetyön tavoite oli tutustua käsinmaalattuun teksturointityyliin ja kameraprojisointiin teksturoinnin työvälineenä sekä analysoida miten näitä asioita on käytetty Arcane-televisiosarjassa. Tutkimuksen ja analysoinnin jälkeen tarkoitus oli mallintaa ja teksturoida sarjan tyylistä inspiroitunut proppi, jonka valmistuksessa hyödynnettäisiin aikaisemmin tutkittuja keinoja käsin maalauksesta kameraprojisointiin. Lopputuloksena syntyi teekannu, jonka tekstuuri beikattiin

useasta kameraprojisoidusta ja käsin maalatusta tekstuurikartasta. Maalauksellinen tyyli onnistuttiin saavuttamaan ja kameraprojisointi osoittautui tehokkaaksi työkaluksi teksturointiprosessissa, varsinkin kun 2D-kuvamainen tyyli haluttiin säilyttää 3D-mallin ilmeessä.

Opinnäytetyön projektivaiheen lopussa osoittautui, että kameraprojisoinnissa oli joitakin haasteita, mutta erilaisten korjausmenetelmien avulla projekti onnistui. Kameraprojektioilla työskentely ei ollut yksinkertaisin työtapana, mutta teorian alustava tutkimus auttoi ymmärtämään työkaluja paremmin. Tekstuurien beikkausmahdollisuus tekee kameraprojektioista varteenotettavan ja melko nopean tavan luoda tekstuureja, ja varsinkin proppien sekä vähäisesti liikkuvien taustaelementtien teksturointiaika voisi lyhentyä merkittävästi. Kameraprojisoituja läpinäkyviä tekstuurikarttoja voisi myös käyttää pohjamateriaalin päällä tasoina, esimerkiksi animaatioissa, jossa kamera kuvaa sekä kaukaa että läheltä. Tällä tavalla tekstuuritasoa voitaisiin animoida läpinäkyvästä näkyväksi kameralähestyessä, lisäten yksityiskohtia tekstuuriin, joita ei kuitenkaan kaikissa kuvakulmissa tarvita. Kameraprojisoinnin hyödyntäminen teksturoinnissa tuntui tällä tavalla tarjoavan useita joustavia vaihtoehtoja.

Arcane-sarjan visuaalisen ilmeen analysointi nopeutti projektiosuuden suunnittelu- ja teksturointivaihetta sekä auttoi heti aluksi ymmärtämään, miten prosessia kannattaisi lähestyä. Tekstuurien maalaus käsin ei lopulta vienyt paljoa aikaa, koska sarjasta löytyi paljon referenssikuvia ja maalaukselliseen ilmeeseen pyrkiminen ei vaadi kuvarealismia laatua. Propin teksturoinnissa käytettiin lisäksi vain yhtä tekstuurikarttaa, eikä esimerkiksi pinnan muodon yksityiskohtia lisäävää normaalikarttaa tarvittu.

Opinnäytetyötä ja projektia tehdessäni vahvistin jo olemassa olevaa tietotaitoani teksturointiin liittyen ja opin paljon uutta erityisesti kameraprojisoinnista ja tekstuurien beikkauksesta UV-kartalle kameralähestyessä. Pidän tekstuurien maalamisesta käsin ja aion jatkossakin hyödyntää opinnäytetyössä tutkimiani menetelmiä ja projektin aikana käyttämiäni työkaluja 3D-mallien teksturoinnissa.

## Lähteet

Adobe 2022. 3D texturing and Adobe Substance 3D.

<<https://www.adobe.com/mt/products/substance3d/discover/3d-texturing.html>>

(luettu 15.10.2022)

Arcane (Arcane) 2021. Netflix. Ranska/USA: Fortiche Production / Riot Games.

[Katsottavissa Netflix <<https://www.netflix.com/watch/81446667>> (Katsottu 12.2021)]

Bueno, Luana 2018. Aloy - Horizon Zero Dawn - Hand painted fan art. ArtStation.

<<https://www.artstation.com/artwork/VO9P8>> (luettu 29.10.2022).

Calvello, Mara 2022. What Is UV Mapping? How It Makes 3D Models Come to Life.

<<https://www.g2.com/articles/uv-mapping>> (luettu 26.10.2022)

Chen, Dawson 2017. Witch's Cauldron. ArtStation.

<<https://www.artstation.com/artwork/okE1w>> (luettu 5.11.2022).

Cornelisse, Marit 2019. Procedural texturing for hand-painted stylized character pipelines. Game Developer.

<<https://www.gamedeveloper.com/art/procedural-texturing-for-hand-painted-stylized-character-pipelines>> (luettu 29.10.2022).

Denham, Thomas 2022. Texture Maps: The Ultimate Guide For 3D Artist. Concept Art Empire. <<https://conceptartempire.com/texture-maps/>> (luettu 1.11.2022)

Denham, Thomas 2022. What is UV Mapping & Unwrapping? Concept Art Empire.  
<<https://conceptartempire.com/uv-mapping-unwrapping/>> (luettu 26.10.2022)

Disco Elysium (Disco Elysium) 2019. ZA/UM.

FolksTalk. Päiväämätön. Specular Vs Roughness With Code Examples.  
<<https://www.folkstalk.com/2022/09/specular-vs-roughness-with-code-examples.html>> (luettu 10.11.2022).

Ganbar, Ron 2014. Nuke 101: Professional Compositing and Visual Effects, Second Edition. Peachpit Press.

Hartikainen, Nico 2021. Odotettu anime nousi raketin lailla Netflixin kärkeen – katsottavissa myös suomeksi, vaikka ikäraja on K16. Ilta-Sanomat.  
12.11.2021.  
<<https://www.is.fi/digitoday/esports/art-2000008398304.html>> (luettu 20.10.2021).

Kervinen, Airi 2021. Tyylitellyn 3D-pelihahmon käsinmaalattu teksturointi Substance Painterilla ja Photoshopilla. Opinnäytetyö. Helsinki: Metropolia Ammatikorkeakoulu, Viestintä.  
<<https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2021052110305>>

League of Legends 2009. Arcane: Bridging the Rift | League of Legends. Youtube-soittolista 4.8.2022. <[https://www.youtube.com/watch?v=hiKYIBMI-Hcw&list=PLbAFXJC0J5GYEkfxnGTWnvgcEypgBeAb5&ab\\_channel=LeagueofLegends](https://www.youtube.com/watch?v=hiKYIBMI-Hcw&list=PLbAFXJC0J5GYEkfxnGTWnvgcEypgBeAb5&ab_channel=LeagueofLegends)> (katsottu 22.9.2022)

Lightning Boy Studio 2020. Arcane Tutorial Part 2: Deep Dive Into the Arcane Look and Camera Projections (Blender 3.0 / Eevee). Verkkoideo 7.4.2022.  
<[https://www.youtube.com/watch?v=gG7ZoP3fd1w&t=1171s&ab\\_channel=LightningBoyStudio](https://www.youtube.com/watch?v=gG7ZoP3fd1w&t=1171s&ab_channel=LightningBoyStudio)> (katsottu 25.9.2022)

McCombs, Shea. Päiväämätön. Intro to Procedural Textures. UpVector.  
<<http://www.upvector.com/?section=Tutorials&subsection=Intro%20to%20Procedural%20Textures>> (luettu 29.10.2022)

McKesson, Jason L. 2012. Learning Modern 3D Graphics Programming. GitHub.  
<<https://paroj.github.io/gltut/Texturing/Tut17%20Projective%20Texture.html>> (luettu 7.11.2022).

Meemoo Interactive 2019. UVW Mapping.  
<<https://www.meemoo.in/2019/04/17/uvw-mapping/>> (luettu 27.10.2022)

Olof Storm 2009. 2D&3D Combined - Camera Mapping. Verkkoideo 4.10.2019.  
<[https://www.youtube.com/watch?v=y9pfyr1\\_1ZE&ab\\_channel=OlofStorm](https://www.youtube.com/watch?v=y9pfyr1_1ZE&ab_channel=OlofStorm)> (katsottu 16.11.2022)

Pluralsight 2014. Start Mastering Important 3D Texturing Terminology.  
<<https://www.pluralsight.com/blog/film-games/cover-bases-common-3d-texturing-terminology>> (luettu 30.10.2022)

Scott, Dan 2019. Fundamentals of Art – The Building Blocks of an Artwork. Draw Paint Academy.  
<<https://drawpaintacademy.com/fundamentals-of-art/>> (luettu 6.11.2022).

Shadercat 2016. What is a Shader?  
<<https://www.shadercat.com/what-is-a-shader/>> (luettu 3.11.2022)

Unity 2022. Normal map (Bump mapping). Unity User Manual 2021.3 (LTS).  
<<https://docs.unity3d.com/Manual/StandardShaderMaterialParameterNormalMap.html>> (luettu 15.11.2022)

Van der Walt, Leah 2020. What Does a Specular Map Do? Wedesignvirtual.com.  
<<http://wedesignvirtual.com/what-does-a-specular-map-do/>> (luettu 15.11.2022)

Vidal, Magali 2022. ARCANE - texture artist props. ArtStation.  
<<https://www.artstation.com/artwork/r9zD1J>> (luettu 15.10.2022)

## Liitteet

### Renderoituja kuvia valmiista propista





