



Katariina Lempiäinen

Low poly -mallin teksturointi

Käsinmaalattujen tekstuurien toteuttaminen low poly -mallille eri 3D-ohjelmia hyödyntäen

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Medianomi

Viestintä

Opinnäytetyö

15.5.2024

Tiivistelmä

Tekijä(t):	Katariina Lempiäinen
Otsikko:	Low poly -mallin teksturointi: Käsimaalattujen tekstuurien toteuttaminen low poly -mallille eri 3D ohjelmia hyödyntäen
Sivumäärä:	46 sivua + 1 liitettä
Aika:	15.5.2014
Tutkinto:	Medianomi (AMK)
Tutkinto-ohjelma:	Viestintä
Suuntautumisvaihtoehto:	3D-animointi ja -visualisointi
Ohjaaja(t):	Lehtori Jaro Lehtonen

Opinnäytetyön tarkoitus on käydä läpi low poly -mallin käsimaalattujen teksturoinnin perusteita ja taiteen periaatteita sekä niiden soveltamista käytäntöön. Luvuissa sivutaan myös muita vaihtoehtoisia teksturointimenetelmiä ja -käytäntöjä.

Teoreettinen osuus käsittelee teksturointia 3D -ympäristössä, sen käsitteistöä kuten UV- ja tekstuurikarttoja sekä niiden käyttötapoja ja tarkoituksia. Tässä kappaleessa käydään läpi myös shadereitä, materiaaleja ja proseduraalista teksturointia.

Toisessa teoreettisessa osuudessa käsitellään taiteen periaatteita ja niiden keskeisiä käsitteitä, kuten väriä, valööriä, harmoniaa ja kontrastia. Käsimaalatuissa tekstuureissa nämä periaatteet ovat tärkeitä kolmiulotteisuuden, huomion herättämisen sekä katseen kohdistamisen kannalta.

Teoriaosuudessa opittua hyödynnetään projektiosuudessa, jossa luodaan peliympäristöön tarkoitettu 3D-malli eli proppi. Projektiosuudessa käydään läpi proppin tekovaiheet aina mallinnuksesta UV-kartoitukseen ja tekstuurien maalaamiseen eri ohjelmia hyödyntäen. Lopuksi pohditaan projektin lopputulosta, sen onnistumisia ja epäonnistumisia.

Avainsanat: teksturointi, käsimaalattut tekstuurit, low poly, 3D-mallinnus, proppi

Abstract

Author(s):	Katariina Lempiäinen
Title:	Texturing of a Low Poly Model: Making Hand-Painted Textures On a Low Poly Model Using Various 3D Software
Number of Pages:	46 pages + 1 appendices
Date:	15 May 2024
Degree:	Bachelor of Culture and Arts
Degree Programme:	Media
Specialisation option:	3D Animation and Visualization
Instructor(s):	Jaro Lehtonen, Senior Lecturer

The purpose of this thesis is to go through the basics of hand-painted textures of a low poly model, principles of art and how to apply these to practice. The chapters touches other alternative methods and customs of texturing.

The theoretical part covers texturing in 3D environment, its terminology such as UV- and texturemaps and their functions and purposes. This section also covers shaders, materials and procedural texturing.

The second theoretical part deals with the principles of art, its essential concepts such as color, value, harmony and contrast. In hand-painted textures these principles are important to illustrate three dimensionality, drawing attention and guiding the viewer's eye.

What is learned from the theoretical phase is then applied in a project in which a 3D model or a prop intended for a game environment is created. In this part, different stages of the prop creation process all the way from modeling and UV mapping to texturing are covered, using different software. Finally, the outcome of the project, it's success and failures are being discussed.

Keywords: Texturing, Handpainted Textures, Low Poly, 3D-Modeling, Prop

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Käsitteitä	2
3	3D-Teksturointi	2
3.1	Mikä on tekstuuri?	2
3.2	UV-kartta	3
3.3	Tekstuurikartta	5
3.3.1	Albedo ja diffuse	8
3.3.2	Normal, bump ja displacement	9
3.3.3	Ambient occlusion eli ympäristövalokartta	11
3.3.4	Specular ja gloss	12
3.3.5	Metalness ja roughness	13
3.3.6	Thickness ja curvature	15
3.3.7	Emissive	16
3.4	Shader ja materiaali	17
3.5	Teksturointitavat	17
3.5.1	Proseduraalinen teksturointi	18
3.5.2	Käsinmaalattu teksturointi	19
4	Taiteen periaatteita	20
4.1	Väri	21
4.2	Valööri	24
4.3	Kontrasti	28
4.4	Harmonia	29
5	Projektiosuus	30
5.1	Suunnittelu	30
5.2	Mallintaminen	32
5.3	Teksturointi	33
5.3.1	UV-kartoitus	34
5.3.2	Valmistelu	36
5.3.3	Tekstuurien maalaus	38
6	Yhteenveto ja pohdinta	40
	Lähteet	43

Liitteet

47

Kuvia valmiista tekstuureista

47

1 Johdanto

Tässä opinnäytetyössä käsitellään teksturoinnin ja maalaustaiteen perusteita sekä niiden soveltamista 3D-mallin käsinmaalattujen tekstuurien toteuttamisessa. Teksturointia, sen merkitystä ja käyttötarkoituksia käsitellään pääsääntöisesti käsinmaalatun teksturoinnin näkökulmasta. Tarkoituksena on tutustua siihen, miten tyylitellyn maalausjäljen saa näkymään 3D-mallin pinnalla ja minkälaisia työkaluja siihen tarvitaan. Opinnäytetyössä teksturointia lähestytään siinä käytettävien ohjelmistojen ja toimintatapojen näkökulmasta kokonaisvaltaisesti. Analyysin jälkeen tehdään projekti, jossa sovelletaan tutkimuksessa havainnollistettua tietoa ja lisätään aiheen teoreettisen osaamisen rinnalle myös käytännön kokemus. Projektissa edetään mallintamisesta UV- ja tekstuurikarttojen tekemiseen ja sen jälkeen itse tekstuurien maalaamiseen.

Opinnäytetyön teoreettisessa osuudessa käydään ensin tarkasti läpi 3D-teksturoinnin perusteita sekä sen keskeisiä käsitteitä kuten UV- ja tekstuurikarttoja. Käsitteiden jälkeen tutustutaan kahteen eri teksturointitapaan; käsinmaalattuun teksturointitapaan, jota tämä opinnäytetyö pääsääntöisesti käsittelee, sekä proseduraaliseen teksturointitapaan, jonka monipuolisuutta ja käyttömahdollisuuksia käydään läpi vain pintapuoleisesti. 3D-teksturoinnin jälkeen sukellaan perinteisen maalaustaiteen ja muotoilun elementteihin sekä periaatteisiin, jotka toimivat teoksen pohjana oli se sitten taulukangas tai 3D-objekti. Näitä taiteen käsitteitä on tärkeä ymmärtää, jotta taiteilija osaa niiden kautta kommunikoida teoksellaan haluttuja tunteita ja ajatuksia sekä auttaa katsojaa ymmärtämään teoksen tarkoitusta syvemmin.

2 Käsitteitä

3D: Kolmiulotteinen

2D: Kaksiulotteinen

Polygoni: Monikulmio joiden kokonaisuudesta 3D-malli rakentuu.

Verteksi: Kärkipiste jolla on sijainti mutta ei kokoa.

Lowpoly: Polygonverkko, jossa on määrältään vähän polygoneja.

Highpoly: Polygonverkko, jossa on määrältään paljon polygoneja.

UV: Kaksiulotteisen tekstuurikartan U- ja V-akselit, joiden koordinaatit määrittävät mille alueelle tekstuurikartan eri osat sijoittuvat 3D-mallissa.

Shader: Ohjelma joka laskee valon ja värin eri määriä 3D-mallin pinnalla.

Renderöinti: Prosessi, jossa ohjelma muodostaa kaksiulotteisen kuvan 3D-objektista.

Proppi: 3D-Mallinnettu esine tai kappale, usein lowpoly-malli.

N-gon: Polygoni jossa on enemmän kuin neljä kulmaa ja sivua.

Layer: Läpinäkyviä tasoja joita voi asettaa päällekkäin ja joihin voi pakata esimerkiksi väri-informaatiota.

Baking: Prosessi jossa ohjelma laskee 3D-mallista valojen avulla tekstuurikarttoja.

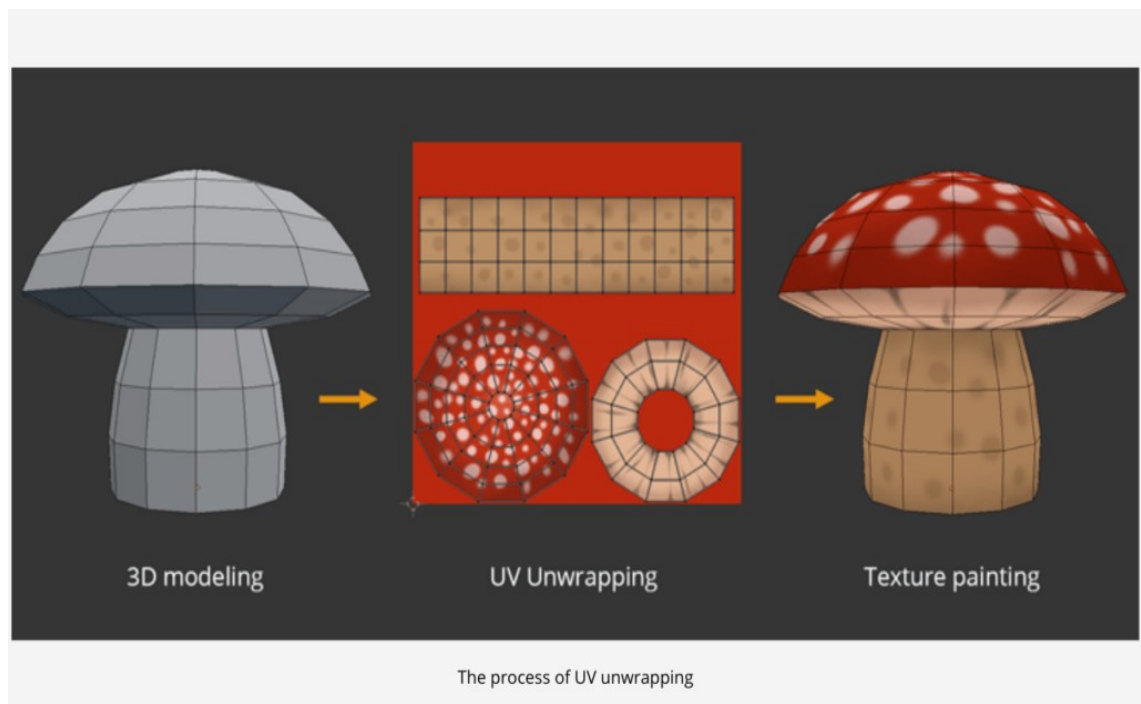
Maskaus: Tekniikka jolla osa objektista piilotetaan maskin alle.

3 3D-Teksturointi

3.1 Mikä on tekstuuri?

Tekstuuri 3D-grafiikassa tarkoittaa kaksiulotteisen bittikarttakuvan soveltamista kolmiulotteiseen pintaan. Bittikarttakuva eli tekstuurikartta muodostuu pikseleistä jotka kuvataan 3D-pinnalla. Tekstuureja tarvitaan erilaisten efektien kuten värien, kiiltävyyden, hehkun, läpinäkyvyyden ja monien muiden ominaisuuksien määrittämiseen (Tiigimägi, 2023).

Teksturointi prosessina tarkoittaa 3D-objektin polygoneista muodostuvan pinnan muodon avaamista kaksiulotteiseen muotoon sekä asettamalla se UV-koordinaatteihin niin, että samoissa koordinaateissa on myös haluttu tekstuurikartta. Teksturointiin kuuluu yhden tai useamman tekstuurikartan maalaus ja asettelu objektille. Bittikarttakuvana voi toimia myös valokuva.



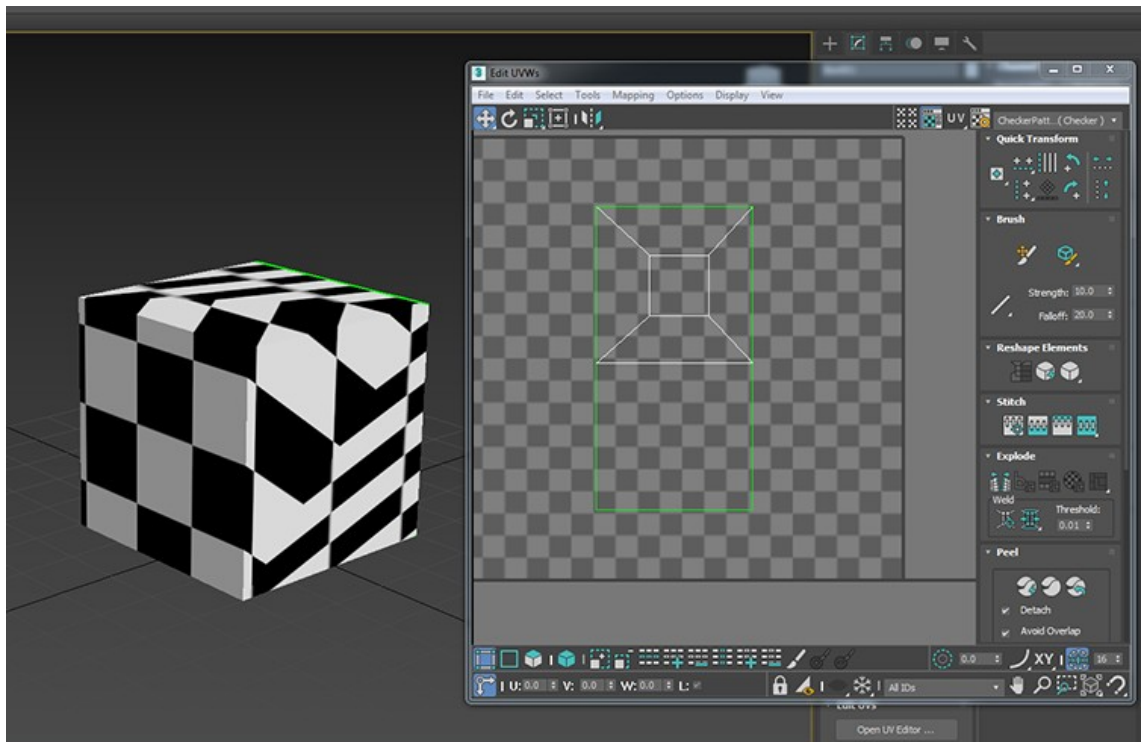
Kuva 1. 3D-malli, sen avattu UV-kartta ja tekstuurit asetettuna mallin ympärille (Muttaqien, 2017).

Itse tekstuurin muodostaa tekstuurikartta joita on monia erilaisia ja niitä yhdistelemällä pinnan saa näyttämään hyvinkin realistiselta. Nämä tekstuurikartat voivat olla värillisiä tai mustavalkoisia niiden käyttötarkoituksesta riippuen. Teksturointikarttoja ja -tapoja on useita, ja niitä käsitellään tulevissa kappaleissa.

3.2 UV-kartta

UV-kartta tarkoittaa kaksiulotteista tekstuurin koordinaatistoa joka vastaa 3D-mallin geometriaa. Toisin sanoen UV-koordinaatit ovat kuin merkkejä jotka kertovat mikä pikseli tekstuurissa vastaa mitään 3D-mallin verteksiä. (Pluralsight, 2022.) Hyvänä nyrkkisääntö on se, että kunnollinen UV -kartoitus riippuu toimivasta mallinnuksesta ja oikeanlaisesta topologiasta (Chandramouli 2022, 121).

UV-kartan U- ja V-etukirjaimet viittaavat kaksiulotteiseen horisontaaliseen (U) sekä vertikaaliseen (V) akseliin, sillä kolmiulotteisen tilan X-, Y- ja Z-akselit ovat jo käytössä. Nämä akselit yksinkertaisesti kertovat missä mikäkin verteksi on tilassa (Omernick 2004, 115). UV-kartan voi kuvitella helpoiten lahjapaperina joka myöhemmin kääritään pakettin ympärille. Tällaista prosessia, jossa UV-kartta luodaan ja asetetaan 3D-mallin ympärille kutsutaan UV-kartoitukseksi (UV unwrapping). Prosessia varten mallille on luotava saumoja, jotka määrittelevät sen, mistä kohtaa geometria leikataan, jotta se saadaan kaksiulotteiseen muotoon. Saumojen määrä pidetään mahdollisimman alhaisena ja ne leikataan paikkoihin, joissa ne ovat vähiten näkyvillä. Usein tällaisia paikkoja ovat kovat reunat, kohdat joissa materiaali vaihtuu huomattavasti tai osat jotka jäävät muun geometrian alle (Plowman 2016, 146). Mallin geometria pysyy yhtenäisenä saumojen leikkauksesta huolimatta, mutta tekstuurissa voi näkyä ei-toivottuja muutoksia, jos saumoja ei ole aseteltu tarpeeksi huolellisesti. (Denham, 2019)



Kuva 2. Kuutio jossa saumojia ei ole juuri lainkaan ja tekstuuri on vääristynyt (Denham, 2019).

Saumata voidaan luoda joko käsin tai automaattisesti. Useimmat 3D-ohjelmat sisältävät toiminnon, jolla objektille voi napin painalluksella luoda ohjelman itse laskemat saumat. UV projektioita on erilaisia, kuten spherical, cylindrical ja planar. Nämä projektiot luovat 3D-objektin saumat sen muodon perusteella. Useimmiten automaattisesti luodut UV-kartoitukset eivät ole optimaalisia ja niitä joutuu korjaamaan jälkikäteen manuaalisesti (Pluralsight, 2022).

UV-kartta voidaan luoda myös käsin tehtyjen saumojen sijaan esimerkiksi kameran avulla nopeuttamaan teksturointiprosessia. Tällä tekniikalla objektin UV-kartta projisoidaan 3D-tilassa käytetyn kameran kuvakulmasta katsottuna. Tämä voi aiheuttaa epätoivottuja vääristymiä kun objektin verteksit näkyvät kamerasta katsoen päällekkäin ja jakavat saman alueen tekstuurikartalla. Tällaiset vääristymät voidaan korjata projisoimalla UV-kartta useammalla eri kameralla (Heilala 2022, 6). Joissakin tapauksissa UV-kartalla näkyvät päällekkäiset verteksit eivät ole huono asia. Kun halutaan objektin kahteen eri 3D-pinnan alueeseen sama tekstuuri, kannattaa niiden UV-kartat asettaa päällekkäin sekä tilan säästämiseksi että työmäärän vähentämiseksi.

UV-kartoituksen etu on se, että se tekee 3D-mallin teksturoimisesta helpompaa, kun tekstuurista on kaksiulotteinen, helposti muokattavissa oleva kuva. Ilman sitä tekstuurit asetetaan suoraan 3D-mallin pintaan mikä on erittäin vaativa ja aikaa vievä prosessi. (Aftab, 2023)

3.3 Tekstuurikartta

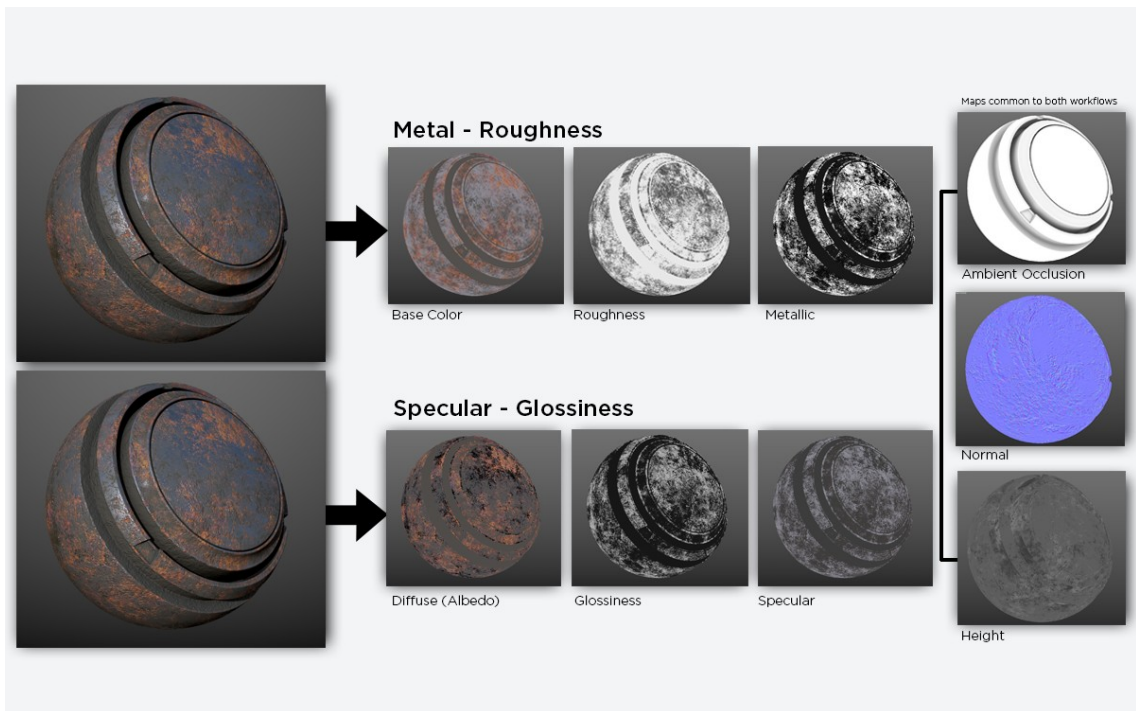
Tekstuurikartta yksinkertaistettuna tarkoittaa kolmiulotteisen mallin pinnalle asetettua kaksiulotteista kuvaa. Tekstuurikartat määritellään sen mukaan mille ohjelmalle 3D-malli luodaan ja käytetäänkö niitä PBR vai non-PBR materiaaleissa. PBR on ollut käytössä jo 1980-luvulta ja se kehitettiin erittäin fotorealistisen kuvan tuottamiseksi (Tiigimägi, 2023).

PBR eli physically based rendering tarkoittaa, että ohjelma renderöi materiaaleja mahdollisimman täsmällisesti imitoiden sitä, miten valo kimpoilee oikean elämän eri materiaalien pinnoilta. Koska PBR pohjautuu oikean elämän fysiikkaan ja sen lopputulos tavoittelee realistisuutta, siinä tekstuurit muodostavat yhdessä isomman kokonaisuuden nimeltä materiaali. (Emerson, 2021)

PBR-menetelmällä ei ole tiukkoja sääntöjä vaan se toimii lähinnä konseptina mahdollisimman realistisestiselle renderöimiselle (Marmoset, 2020). Siinä käytettäviä tekstuurikarttoja ovat albedo, normal, roughness, metalness, specular, height, opacity, ambient occlusion eli ympäristövalokartta, refraction ja self-illumination (Denham, 2019).

PBR -tekstuureita luodaan kahdella eri tavalla: Yksinkertaistetumpi metalness työtapa (workflow), jossa käytetään albedo eli base color-, metal- ja roughness -tekstuurikarttoja sekä specular työtapa, jossa käytetään diffuse-, specular- ja glossiness -tekstuurikarttoja. Molemmat työtavat toimivat pääasiassa samalla tavalla, mutta metalness -työtapa käyttää tilaa säästävää mustavalkoista tekstuurikarttaa metallisuuden määrittelyyn, kun taas specular -työtapa käyttää RGB specular -tekstuurikarttaa heijastuvuuden määrittelyyn (A23D, 2023). Molemmilla ovat hyvät ja huonot puolensa. Esimerkiksi useimmin käytetyllä

metalness työtavalla voi luoda uskottavampia metallitekstuureita, kun taas specular työtavalla voi luoda monipuolisempia tekstuureita (Kılıç, 2023).



Kuva 3. PBR-menetelmän kaksi eri työtapaa. (Allegorithmic, vuosi?)

Non-PBR -menetelmä ei ole standardisoitu 3D-ohjelmissa, mutta esimerkiksi Autodeskin ohjelmat kuten Maya ja 3ds Max käyttävät sitä. Tällä menetelmällä on mahdollista luoda hyvin realistisia tekstuureita, mutta se joustavuudestaan huolimatta vaatii enemmän tekstuurikarttoja ja asetuksia saman lopputuloksen saavuttamiseksi (Tiigimägi, 2023). Se sopii hyvin sellaisille 3D-malleille joiden ainut käyttötarkoitus on promotionaalinen still-kuva eikä niitä ole tarkoitus viedä esimerkiksi PBR-moottoroituun videopeliympäristöön. Tällaisten 3D-ympäristöjen valot eivät vaikuta kaikkiin non-PBR mallin materiaalin ominaisuuksiin, jättäen sen epärealistisen näköiseksi.

Non-PBR -menetelmä toimii hyvin sellaisille projekteille, joissa tavoitellaan realismia sijaan tyyliä tai taiteellisempaa lopputulosta, sillä sen joustavuuden avulla on helpompi luoda abstraktimpia tekstuureita. Non-PBR tekstuurikarttoja ovat esimerkiksi diffuse, bump ja reflection. (Denham, 2019)

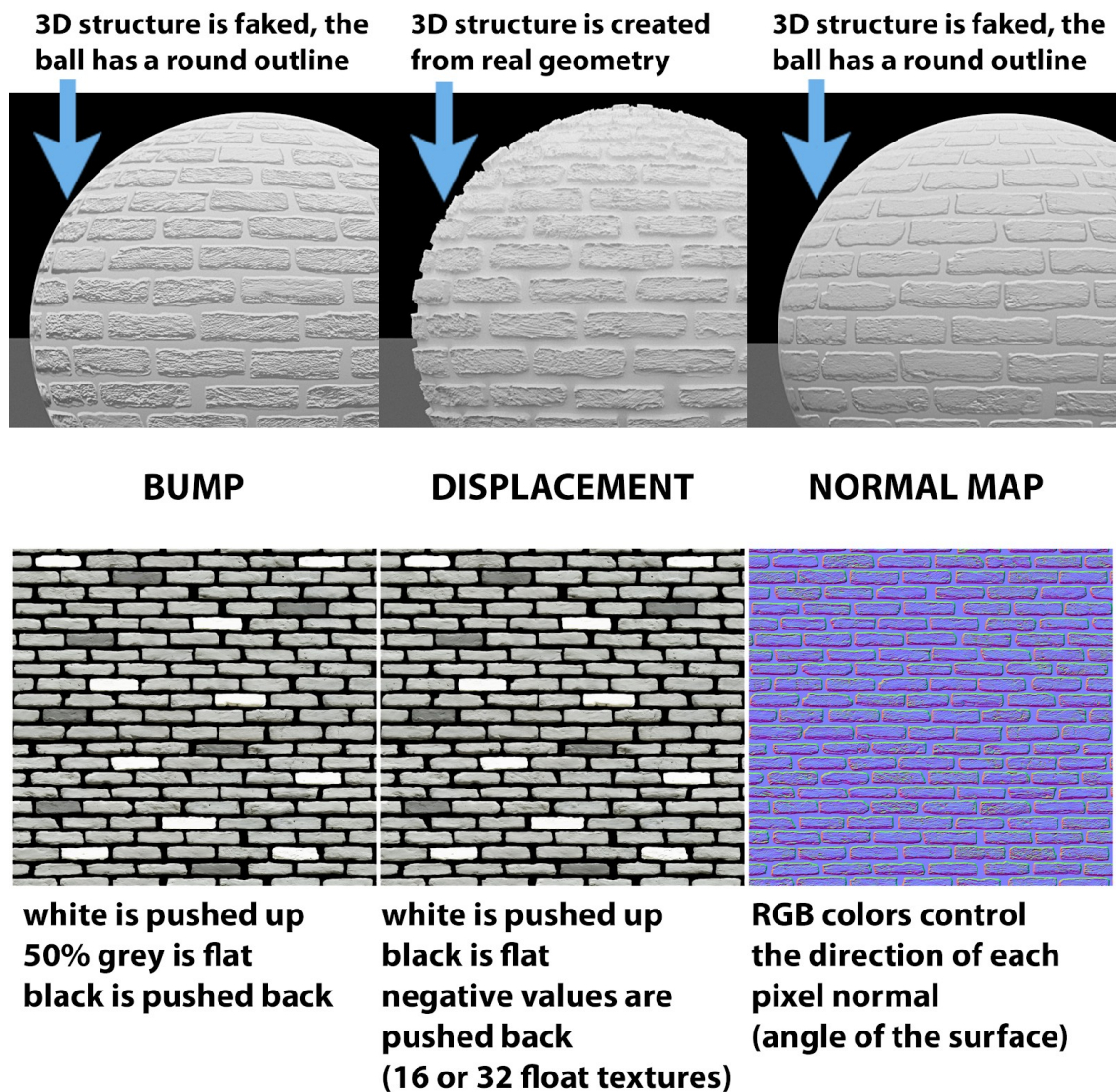
3.3.1 Albedo ja diffuse



Kuva 4. Albedo ja diffuse -tekstuurikartat vierekkäin (Mesquita, 2021).

Albedo- ja diffuse -tekstuurikartat ovat hyvin samankaltaisia. Molemmilla määritellään objektin pohjaväri (base color), mutta diffuse -tekstuurikartta määrittelee pohjavärin lisäksi myös valon jakautumisen objektin pinnalla (A23D, 2023). Albedo -tekstuurikartta toimii usein pelkkänä materiaalin pohjana eikä se diffuse -tekstuurikartan tavoin sisällä informaatiota valoista tai varjoista, sillä niitä halutaan usein määrittellä vain 3D -tilan omilla valonlähteillä mahdollisimman realistisen ja selkeän lopputuloksen saavuttamiseksi (Glawion, 2022). Albedo on PBR -menetelmässä käytetty tekstuurikartta, kun taas diffuse on vanhempi non-PBR tapa luoda objektille pohjaväri. Käsimaalatut tekstuurit käyttävät usein diffuse -tekstuurikarttaa.

3.3.2 Normal, bump ja displacement



Kuva 5. Bump-, displacement- ja normal -tekstuurikartat visualisoituna vasemmalta oikealle (Moś, 2020).

Normal- ja bump -tekstuurikartat määrittelevät objektin pinnan eri syvyys- ja korkeuseroja. Bump -tekstuurikartta saa nimensä siitä, miten se saa pinnan näyttämään kuhmuraiselta. Kumpikaan näistä tekstuurikartoista eivät muuta pinnan geometriaa vaan luovat pelkän illuusion korkeuseroista.

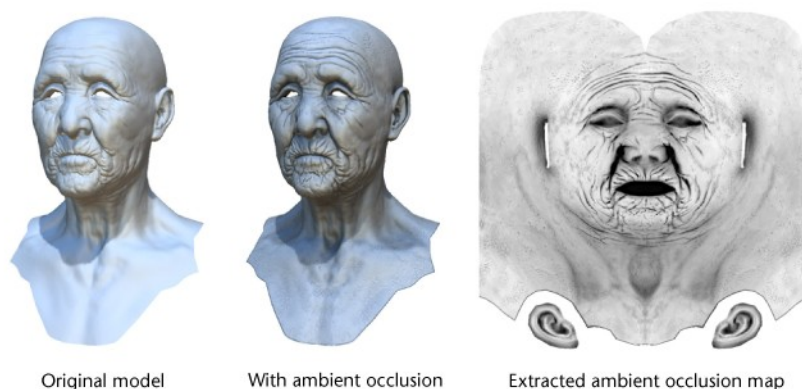
Bump -tekstuurikartassa korkeuserot määritellään mustavalkoisella kartalla, joissa musta väri näyttää objektin pinnalla syvennykseltä ja valkoinen

puolestaan kohoumalta. Bump -tekstuurikarttojen mustavalkoisuuden etu on niiden helppo muokattavuus, mutta ne näyttävät helposti väärentyneiltä jos kamera katsoo niihin väärästä kulmasta. (Pluralsight, 2022)

Normal -tekstuurikartta on uudempi ja parempi versio bump -tekstuurikartasta, sillä se on tarkempi ja määrittelee nämä korkeuserot RGB -värikanavilla. R-, G- ja B -informaatio vastaa 3D-tilan X-, Y- ja Z -akseleita, kertoen ohjelmalle pinnan polygonien normaalien orientaation eli mihin suuntaan mikäkin osa pintaa osoittaa (Plowman 2016, 167). Tämän informaation ansiosta objektin normal -tekstuurikartalla teeskentelyjä korkeuseroja voidaan kameralla katsoa mistä tahansa suunnasta ilman, että ne näyttävät väärentyneiltä. Normal -tekstuurikarttoja on kahdenlaisia; Tangent Space normal jota käytetään enimmäkseen sellaisilla objekteilla joita animoidaan, sekä Object Space normal jota puolestaan käytetään animoimattomilla objekteilla. (Pluralsight, 2022)

Displacement -tekstuurikartta määrittelee myös objektin pinnan syvyyseroja, mutta se eroaa bump – ja normal -tekstuurikartoista siten, että se muuttaa pinnan geometriaa ja objektin siluettia. Displacement -tekstuurikartta käyttää bump -tekstuurikartan tavoin mustavalkoista väri-informaatiota. Se tarvitsee toimiakseen enemmän geometriaa eli korkeampaa polygonmäärää ja sen vuoksi renderöimiseen vaadittu aika on pidempi. Korkean datamäärän vuoksi sen käyttöä ei suosita videopeleissä joissa tilan käyttö on rajallista ja tehoja säästellään. Height -tekstuurikartta toimii samalla tavalla, kuin displacement -tekstuurikartta, mutta sillä yleensä viitataan suurempiin pinnan muutoksiin, joissa geometriaa pusketaan vain normaalien suuntaisesti.

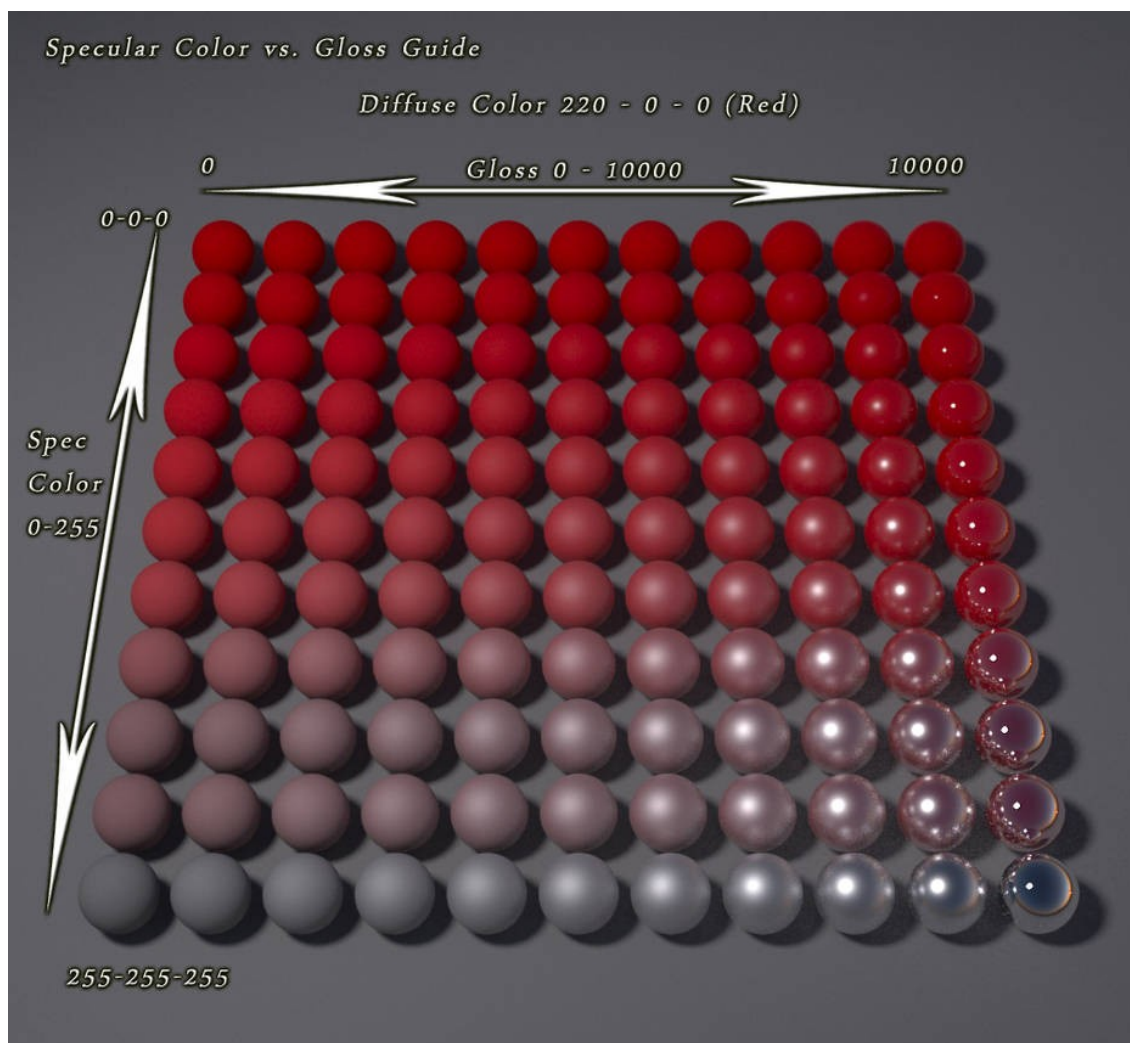
3.3.3 Ambient occlusion eli ympäristövalokartta



Kuva 6. Alkuperäinen malli, malli ympäristövalokartan kanssa ja ympäristövalokartta levitettynä kaksikulotteiseksi (Autodesk, 2009).

Ambient occlusion (AO) eli ympäristövalokartta tarkoittaa tekstuurikarttaa, jonka PBR -moottori yhdistää albedo -tekstuurikartan kanssa määritelläkseen kuinka valo reagoi siihen (Crowder, 2021). Se voidaan yhdistää renderöimällä myös diffuse -tekstuurikarttaan pehmeiden varjojen luomiseksi. Ympäristövalokartta on mustavalkoinen, jossa valkoinen tarkoittaa valaistua ja musta varjoista kohtaa. Ympäristövalokartta ei ole sama kuin valokartta – se ei luo varjoja vaan laskee mitkä osat osoittavat pois päin ympäristön valosta ja tummentaa niitä, luoden illuusion varjoista jotka eivät reagoi muihin objekteihin (Denham, 2019). Vaikka objekti olisi täysin valaisematon, ympäristövalokartalla sille voidaan luoda pehmeä ja yksinkertainen valaistus. Ympäristövalokartta yhdistetään yleensä muiden tekstuurikarttojen kanssa, eikä sitä käytetä yksin.

3.3.4 Specular ja gloss



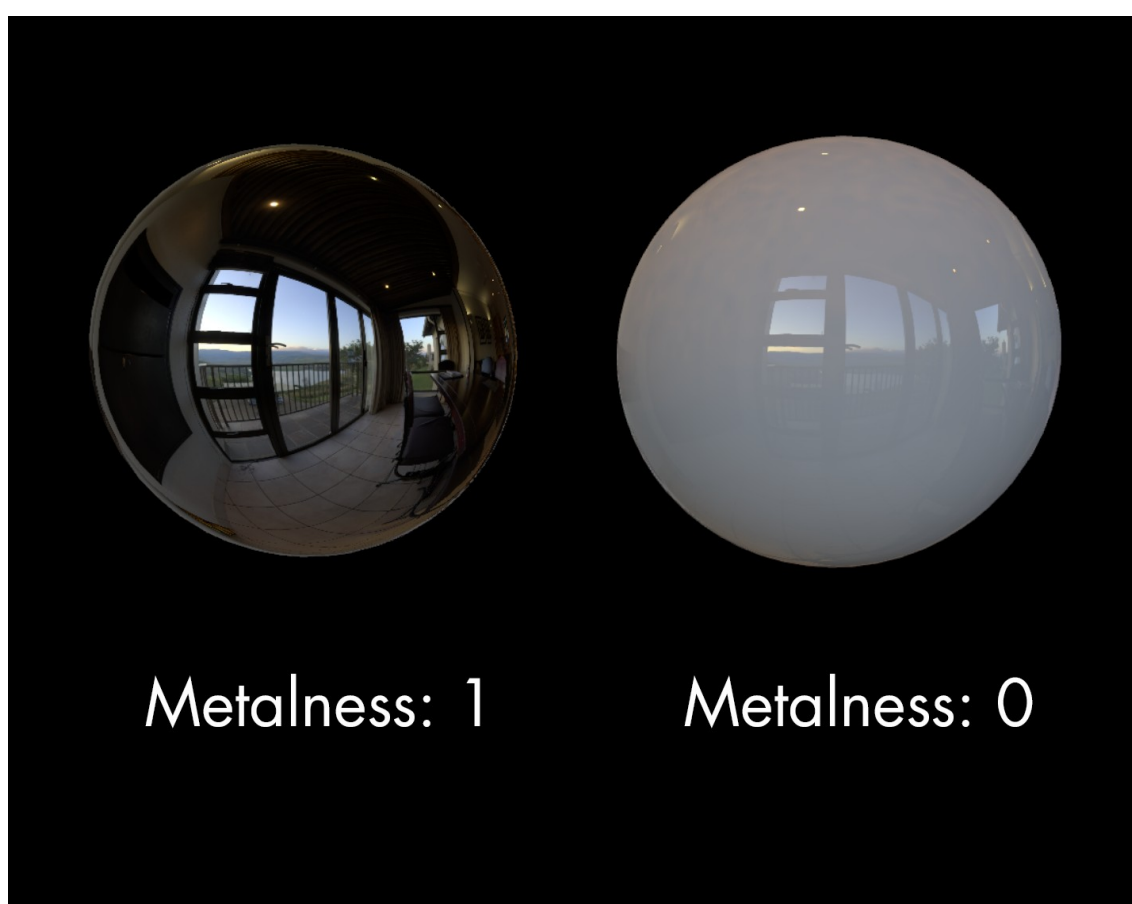
Kuva 7. Specular- ja gloss -tekstuurikartat ja niiden yhteisvaikutukset visualisoituna (Rivaliant, 2013).

Specular -tekstuurikarttoja käytetään vain Specular -työtavassa. Se sisältää väri-informaatiota kohdissa joissa metallisuutta esiintyy. Sen R- G- ja B -kanavat määrittelevät objektin reflektiivisyyden eri kulmista. Niiden ansiosta sillä saadaan aikaan joustavampia ja monipuolisempia tekstuurikarttoja, kuin mustavalkoisella metalness -tekstuurikartalla. Metallisuuden lisäksi sillä voidaan luoda muitakin materiaaleja, kuten kumia ja keramiikkaa (A23D, 2023). Specular -tekstuurikartta toimii yhdessä Albedo -tekstuurikartan eli pohjavärin

kanssa, jolloin Specular -tekstuurikartta määrää metallisuuden värin, kun taas Albedo -tekstuurikartta määrää ei-metallisten osien värin (Poliigon, 2023).

Gloss -tekstuurikartta määrittelee miten sileältä tai kiiltävältä objektin pinta näyttää. Se toimii samalla tavalla, kuin roughness -tekstuurikartta, ne käyttävät vain päinvastaisia arvoja riippuen siitä, käytetäänkö Specular- vai Metalness -työtappaa.

3.3.5 Metalness ja roughness

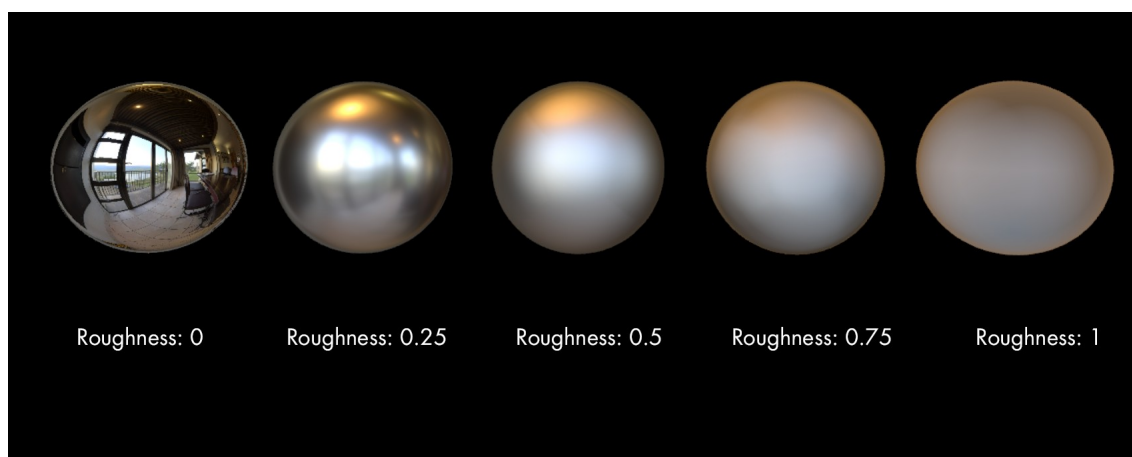


Kuva 8. Metalness -tekstuurikartta arvoissa 1 ja 0 (Aximmetry, 2022).

Metalness -tekstuurikartta määrittelee objektin metallisuuden. Se on mustavalkoinen tekstuurikartta jossa valkoiset alueet ovat täysin metallisia ja mustat alueet ei-metallisia. Harmaat alueet ovat osittain metallisia. Useimmiten

metalness -tekstuurikartan arvot ovat joko täysin mustia tai valkoisia, harmaat osat voivat kuvata esimerkiksi ruostetta. (Poliigon, 2023)

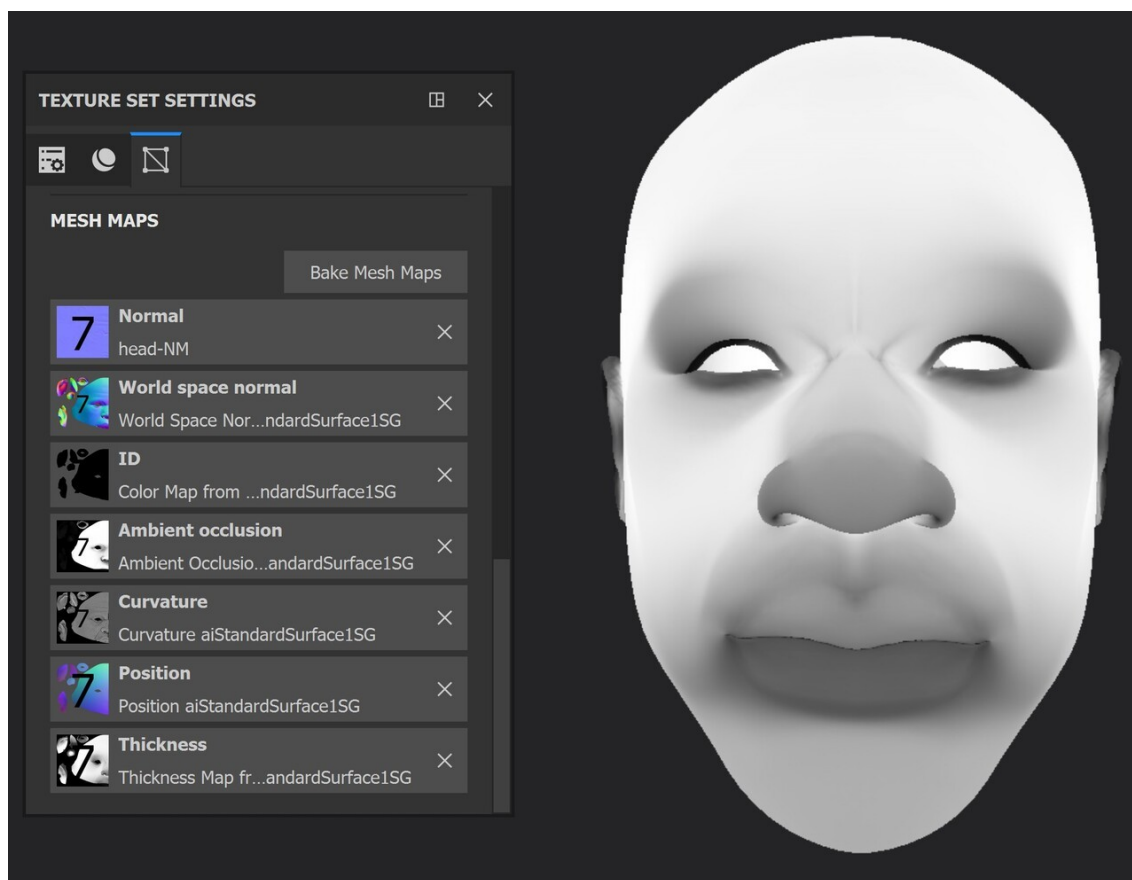
Tätä tekstuurikarttaa on helppo käyttää ja ymmärtää sen mustavalkoisuuden vuoksi. Specular -tekstuurikartta vaatii toimiakseen kahta tekstuurikarttaa, toisin kuin metalness joka toimii yhdellä.



Kuva 9. Roughness -tekstuurikartan vaikutus metalliseen objektiin (Aximmetry, 2022).

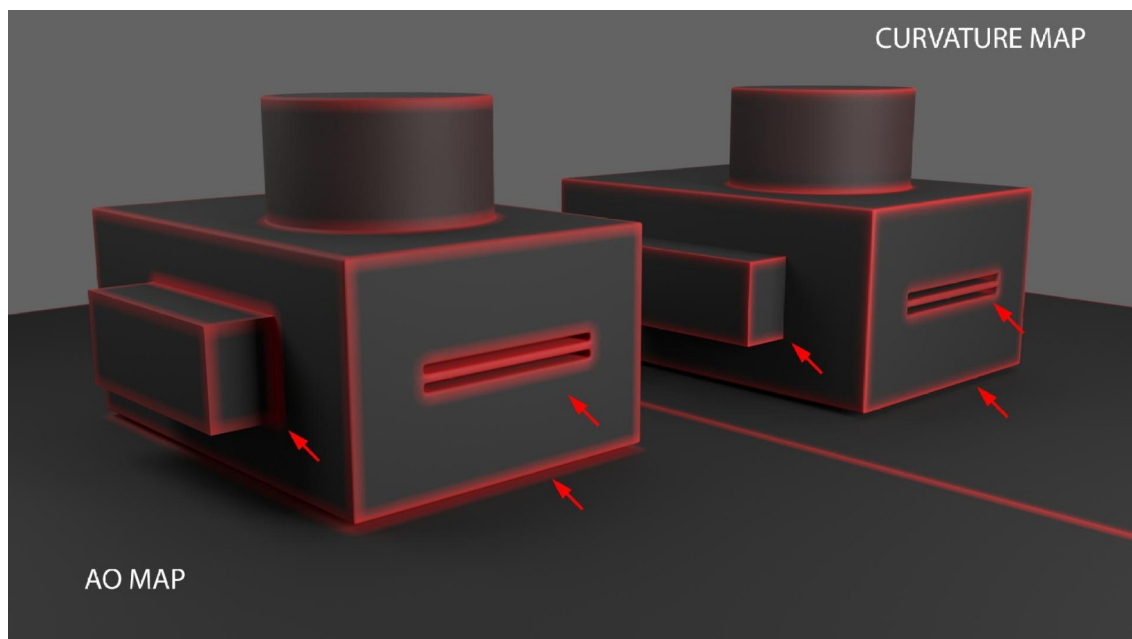
Roughness -tekstuurikartta on sama, kuin gloss -tekstuurikartta. Ne käyttävät vastakkaisia arvoja. Roughness -tekstuurikartan tarkoitus on tehdä materiaalista karheamman näköinen. Se määrittelee, kuinka hajanaisesti valonsäteet kimpoilevat objektin pinnasta (Crowder, 2021). Arvo 0 tekee objektista kiiltävän, kun taas arvo 1 mattapintaisen.

3.3.6 Thickness ja curvature



Kuva 10. Kasvojen Thickness -tekstuurikartta (Manastireanu, 2022).

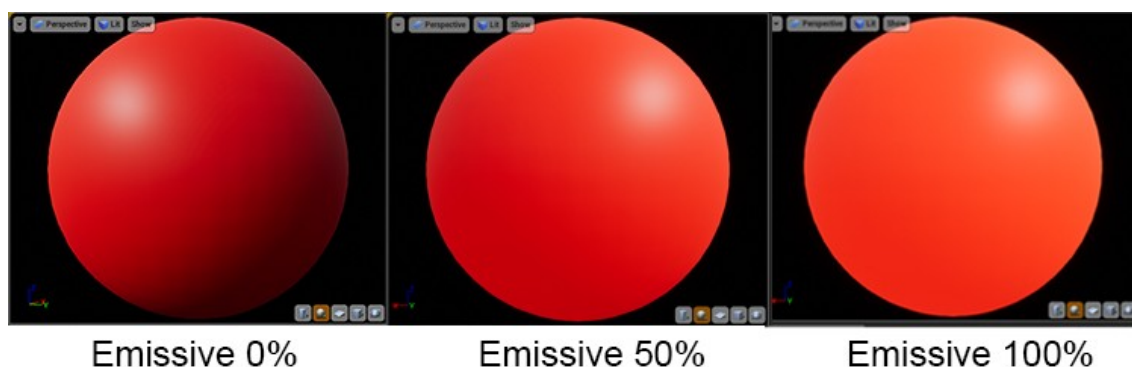
Thickness -tekstuurikartta muistuttaa paljon ympäristövalokarttaa, mutta se suuntaa valonsäteet objektin pinnalta sisäänpäin, eikä ulospäin. Se on mustavalkoinen kartta, jossa musta väri määrittelee objektin ohuita kohtia ja valkoinen paksuja. Thickness -tekstuurikarttaa voidaan hyödyntää Sub Surface Scattering -shaderin kanssa esimerkiksi 3D-hahmon ihon ohuissa kohdissa, joista valo tulee läpi, kuten korvissa tai sormissa (Adobe, 2023).



Kuva 11. Objektiin ympäristövalokartan ja curvature -tekstuurikartan eroavaisuudet kuvattuna punaisella värillä (Chaos, 2022).

Curvature -tekstuurikartta sisältää informaatiota objektiin kuperista ja koverista kohdista. Se on mustavalkoinen kartta, jossa musta väri määrittelee objektiin koveria kohtia ja valkoinen kuperia kohtia. Harmaat kohdat puolestaan ovat neutraaleja eli tasaisia. Kuvassa 11. voidaan nähdä, miten curvature -tekstuurikartta ei vuoda kuperissa ja koverissa kohdissa samalla tavalla kuin ympäristövalokartta, vaan se laskee ne kohdat terävämmin.

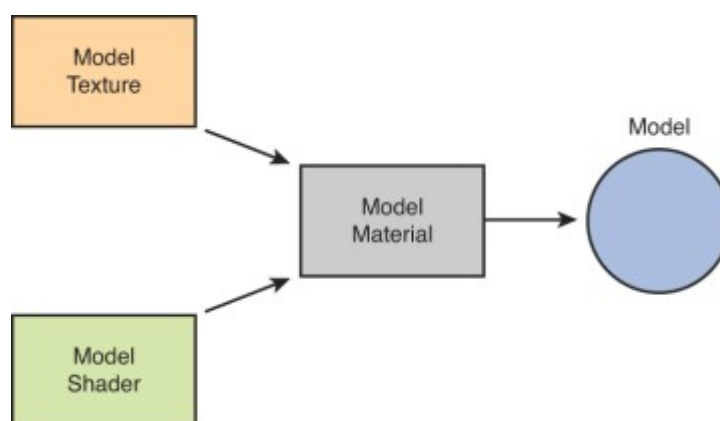
3.3.7 Emissive



Kuva 12. Esimerkkejä emissiivisyydestä Unreal Engine 4:ssä (Denham, 2019).

emissive, toiselta nimeltään self-illumination -tekstuurikartta käyttää RGB-väriarvoja ja saa objektin näyttämään siltä, kuin siitä hohkaisi valoa sisältä päin. Tällainen tekstuurikartta toimii esimerkiksi LED -valoissa tai muissa pienissä yksityiskohdissa. Emissive -tekstuurikartta saa objektin näkymään tummissakin ympäristöissä ilman erillistä valonlähdettä.

3.4 Shader ja materiaali



Kuva 13. 3D-mallin workflow (Geig, 2013).

Shader tarkoittaa ohjelmaa, jolla määritellään miltä 3D-objekti näyttää visuaalisesti. Shadereita on monia erilaisia, mutta niillä on kaikilla samanlaisia funktioita, kuten värin, valon, varjon, värin ja tekstuurin säätäminen.

Materiaali pitää sisällään shadereiden ja tekstuurien kokonaisuuksia ja niitä voidaan asettaa 3D-mallille. Shaderit säätelevät ja päättävät mitkä näistä ominaisuuksista ja tekstuurikartoista materiaalilla on näkyvissä (Geig, 2013). Materiaaleja voidaan ajatella myös kokoelmana ohjeita, joita 3D-ohjelmalle annetaan kun halutaan sen kuvaavan objektin ulkonäköä (Tan, 2022). Materiaaleja muokataan siis lisäämällä niihin erilaisia tekstuurikarttoja ja säätelemällä shadereiden erilaisia parametrejä. Se, miten 3D-mallin materiaali näkyy renderöidyssä kuvassa määrittyy pitkälti shaderin mukaan (Geig, 2013).

3.5 Teksturointitavat

Käsittelen tässä opinnäytetyössä pääasiassa vertailun vuoksi proseduraalista ja käsinmaalattua (image-based) -teksturointitapaa. Erilaisia teksturointimenetelmiä on kuitenkin useampia; esimerkiksi fotogrammetria, jossa oikean elämän mallista otetaan valokuvia eri kuvakulmista ja syötetään 3D-ohjelman analysoitavaksi. Ohjelma yhdistää ja laskee kuvien päällekkäisyyksiä tuottaen niistä mahdollisimman tarkan, teksturoidun 3D-mallin. (Mason, 2015) Eri 3D-ohjelmat tarjoavat erilaisia lähestymistapoja teksturointiin, mutta tärkeintä menetelmän valitsemisessa on pohtia mihin käyttötarkoitukseen 3D-malli ja sen tekstuurit ovat luotu. Teksturoinnissa ei ole yhtä oikeaa tapaa, vaan tekniikoita kannattaa yhdistellä parhaimman lopputuloksen saavuttamiseksi, sekä omien mieltymyksiensä mukaisesti.

3.5.1 Proseduraalinen teksturointi

Proseduraalisella teksturoinnilla tarkoitetaan, että tekstuuri generoidaan matemaattisella algoritmilla (Autodesk, 2023). Perinteisesti teksturointi tapahtuu 2D-tekstuurikartoilla, jotka UV-kartoitetaan 3D-mallin ympärille, mutta proseduraaliset tekstuurit eivät vaadi ollenkaan tekstuurikarttoja, vaan kaikki materiaalit voidaan luoda erilaisilla variaabeleilla ja parametreilla, eivätkä ne sen vuoksi ole sidottuja resoluutioon. Tekstuurin kokoa muutettaessa ohjelma laskee tekstuurin mitat uudelleen samoja algoritmeja seuraten ja suhteuttaa sen uuteen 3D-pintaan ilman, että sen laatu kärsii. Tämä mahdollistaa sen, että tekstuuria voidaan uudelleenkäyttää melkein missä tahansa 3D-mallissa. Proseduraalisen teksturoinnin etu on myös sen joustavuus ja kontrolloitavuus jotka mahdollistavat uniikkien ja kompleksien tekstuurien luomisen (Tan, 2023). Niitä on helppo muokata, eikä virheiden tekeminen lisää työtuntien määrää. Kompleksit tekstuurit vaativat kuitenkin syvempää ymmärrystä siitä, kuinka ohjelman eri työkaluilla ja tekniikoilla näitä algoritmeja ja parametreja generoidaan ja manipuloidaan. Tällaisia työkaluja ovat esimerkiksi node-editorit tai script -kielet joiden opettelu voi olla vaivalloinen ja aikaa vievä prosessi.

Koska proseduraaliset tekstuurit luodaan tietyllä ohjelmalla, ne eivät välttämättä ole yhteensopivia tai mukautettavissa muihin ohjelmiin. (Atkinson, 2023)

Koska proseduraaliset tekstuurit pakataan matemaattisiksi kaavoiksi jotka vievät paljon vähemmän tilaa kuin kuvatiedostot, ne säästävät aikaa käsityöltä ja toimivat erityisesti videopeleissä joissa tilan käyttö on rajallista.

Proseduraalisten tekstuurien varjopuolena on kuitenkin se, että ne eivät välttämättä näytä yhtä realistisilta kuin kuvapohjaiset tekstuurit, koska ne eivät sisällä kaikkia niitä hienovaraisia yksityiskohtia, joita kuvatiedostoon voi taltioida ja joita ei matemaattisilla algoritmeilla pysty jäljittelemään. (Atkinson, 2023)

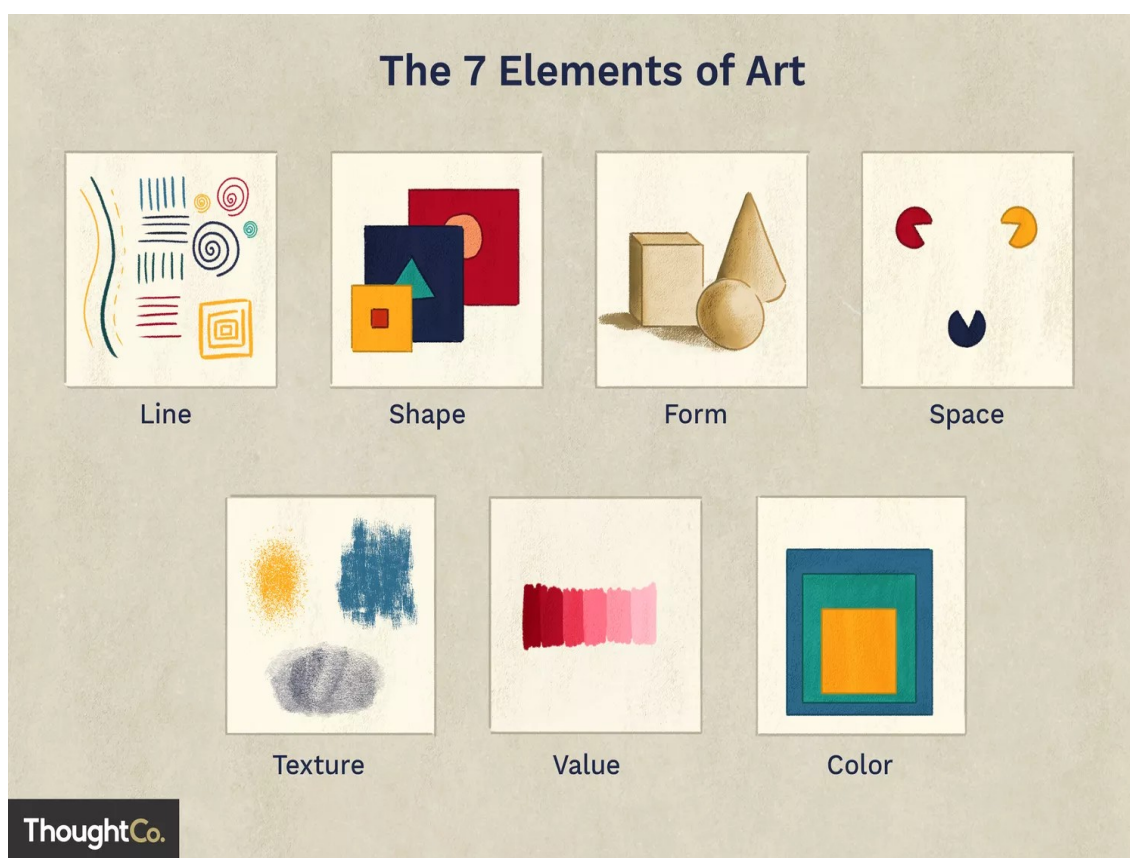
3.5.2 Käsinmaalattu teksturointi

Aihe, johon tämä opinnäytetyö perehtyy syvemmin käsittelee käsinmaalattuja tekstureita. Käsinmaalatulla teksturoinnilla (Image-based texturing) tarkoitetaan perinteistä tapaa, jossa 3D-mallin tekstuurit tuotetaan kaksiuulotteisilla kuvilla. Ne ovat aina rajattuja resoluutioon toisin kuin proseduraaliset tekstuurit. Tämä tarkoittaa sitä, että käsinmaalattu tekstuuri pysyy samana 3D-mallin geometrian muutoksista huolimatta, jättäen sen mahdollisesti luonnottoman tai huonolaatuisen näköiseksi (Tan, 2023). Käsinmaalattujen tekstuurien varjopuoli on se, että niitä ei voi muuttaa helposti parametrejä lisäämällä tai poistamalla, vaan muutosten tekeminen vaatii aina käsityötä. Virheiden tekeminen voi lisätä huomattavan määrän työtunteja koska ne pitää korjata manuaalisesti.

Videopelien proppien käsinmaalatuissa tekstureissa suurin osa informaatiosta pakataan vain väri-informaatiota sisältävään diffuse-tekstuurikarttaan. Samaan tekstuurikarttaan maalataan 3D-mallin valot ja varjot, eivätkä ne siten mukaudu 3D-ympäristön omiin valoihin. Tämä informaation pakkaaminen samaan tekstuurikarttaan säästää pelimoottorin tehoja ja syntyi aikanaan teknillisten rajoitteiden, kuten alhaisten polygonmäärien vuoksi, mutta kehittyi sitten teksturoinnin tyyliisuuntaukseksi. (Phan, 2016).

Käsinmaalattu lähestymistapa on usein työläämpi ja vaatii enemmän taiteellista ymmärrystä kuin proseduraalinen teksturointi. Se on kuitenkin taiteellisesti vapaampaa ja aina helposti muokattavissa oleva tekniikka. Vaikka malli olisi valmis, sen geometriaa ja UV-kartoitusta voidaan muuttaa ja tekstuurikarttaa päivittää muutoksien myötä (Phan, 2016).

4 Taiteen periaatteita



Kuva 14. Taiteen seitsemän elementtiä (Li, 2019).

Koska tämä opinnäytetyö käsittelee käsinmaalattuja tekstuureita, on olennaista ymmärtää taiteen perusoppeja ja sitä, miten niitä voidaan hyväksikäyttää ja sovittaa omaan prosessiin visuaalisesti miellyttävän lopputuloksen saavuttamiseksi. Perusoppien sisäistäminen auttaa ideoiden visualisoinnissa, mielenkiintoisten ja huomiota herättävien teoksien luonnissa, sekä tuomaan niissä haluttuja elementtejä esille (Chandramouli 2022, 86).

Taide pohjautuu seitsemään periaatteeseen ja seitsemään elementtiin. Näitä ovat tasapaino, harmonia, mittasuhteet, painotus, vaihtelevuus, liike ja rytmi. Elementteinä toimivat viiva, muoto, väri, rakenne, tila, valööri ja tekstuuri. (Anthony, 2021) Joskus näiden periaatteiden käsitteitä voidaan kuvailla eri nimityksillä ja niihin voidaan lukea mukaan esimerkiksi kuvio tai kontrasti, mutta ne kaikki pohjautuvat yleensä samoihin oppeihin. Syvennyn valitsemani teksturointiprosessin kannalta näistä tärkeimpiin.

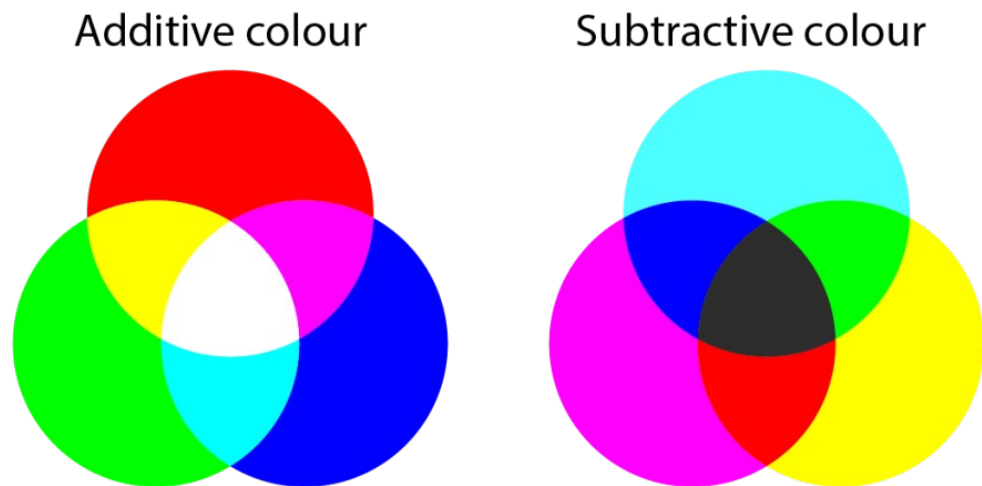
Koska projektin tarkoitus on vain yhden objektin teksturointi on turhaa pohtia esimerkiksi painotuksen, rakenteen ja rytmin merkityksiä. Katse ohjautuu väkisin kuvan keskellä istuvaan yksittäiseen, kolmiulotteiseen objektiin. Se on ainut painopiste eikä siinä esiinny juurikaan rytmitystä eli toistuvaa tai liikehtivää visuaalista informaatiota.

4.1 Väri

Väri on itsessään niin laaja aihe, että sen käsittely on tässä opinnäytetyössä rajattu vain käsinmaalatun teksturoinnin kannalta keskeisimpiin osiin. Käyn kuitenkin lyhyesti läpi värin historiaa ja sen käsitteitä.

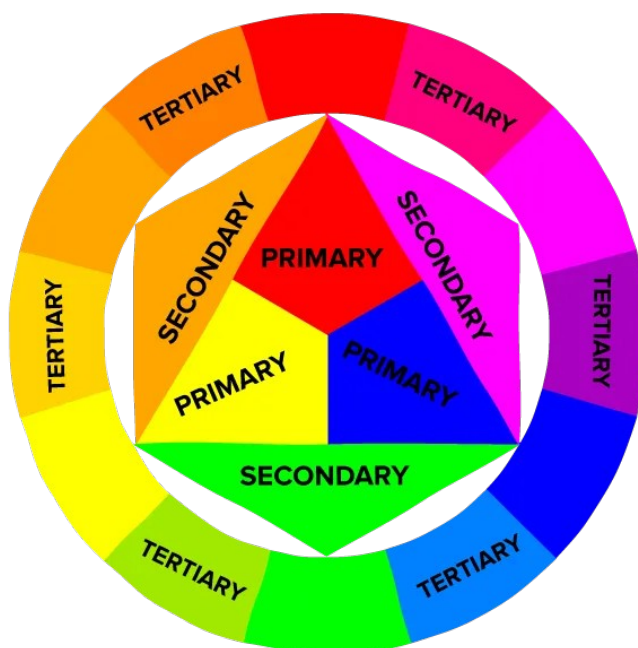
Kaikessa yksinkertaisuudessaan värit ovat valon eri aallonpituuksia jotka heijastuvat objektien pinnoilta silmiimme. Isaac Newton oli ensimmäinen tiedemies, joka huomasi yhteyden valon ja värin välillä. Hänen mukaansa valkoinen valo koostuu säteistä jotka taipuvat prismassa ja hajoavat spektriin (Munsell, 2012). Se on sama ilmiö joka tapahtuu sateenkaaren syntyessä. Värit jakautuvat sävyihin ja sävy tarkoittaa värin sijaintia spektrissä. Näihin spektrin väreihin lukeutuvat punainen, oranssi, keltainen, vihreä, sininen, indigo ja violetti. Sävyyn lisäksi väri pitää sisällään valöörin ja kontrastin.

Maalustaiteessa värit ovat pigmenttejä, joita maalaamiseen käytetään. Tietokoneen ruudulla värit muodostuvat RGB -valoista eli punaisen, vihreän ja sinisen yhdistelmistä, kun taas tulostin käyttää CMYK -värejä eli turkoosia, magentaa, keltaista ja mustaa mustetta painaessaan kuvia paperille.



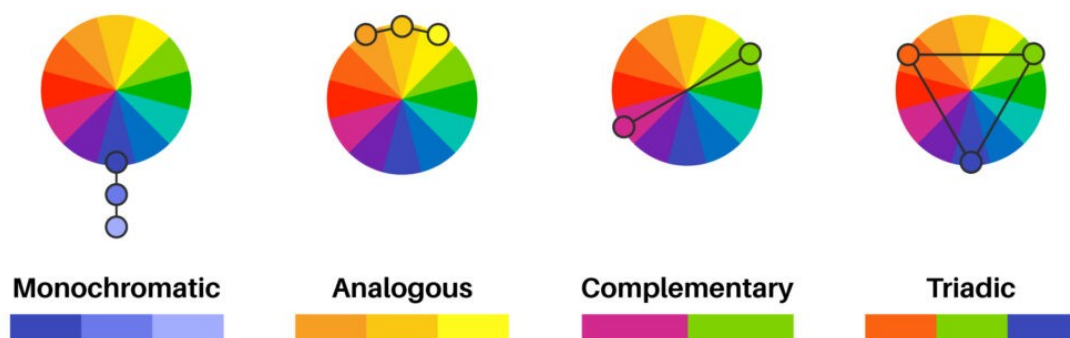
Kuva 15. Additiivinen- ja substraktiivinen väriteoria (Cianci, 2023).

Newtonin kokeilujen pohjalta maalaustaiteen pääväreiksi muodostuivat punainen, keltainen sekä sininen joista muut värit syntyvät ja joita ei voi muita värejä yhdistelemällä luoda. Miksi sitten tietokoneen tai TV:n näytöissä käytetään keltaisen sijasta vihreää valoa? Tämä johtuu kahdesta eri väriteoriasta, additiivisesta ja substraktiivisesta. Substraktiivinen värien sekoittaminen tarkoittaa, että värejä lisäämällä syntyy tummia värejä eli valon määrä vähenee. Additiivinen värien sekoittaminen tarkoittaa, että värejä lisäämällä syntyy vaaleampia sävyjä (Holben, 2013). Additiivinen väriteoria toimii ainoastaan valoissa, eikä fyysisissä väreissä kuten maaleissa.



Kuva 16. Primäärivärit (primary), sekundäärivärit (secondary) ja tertiäärivärit (tertiary) kuvattuna (Chunduri, 2022).

Väriympyrä jaetaan primääriväreihin, sekundääriväreihin ja tertiääriväreihin. Primaarivärejä yhdistelemällä saadaan sekundäärivärit ja sekundääriväreistä tertiäärivärit (Sierilä, 2023). Väriympyrä jaetaan näiden lisäksi kahtia kylmiin ja lämpimiin sävyihin. Kylmiä sävyjä ovat vihreät, siniset ja violetit, lämpimiä taas punaiset, oranssit ja keltaiset. Kylmät värit mielletään rauhoittaviksi ja viileiksi, kun taas lämpimät värit hälyttäväksi ja kiireellisiksi (Chandramouli 2022, 328).

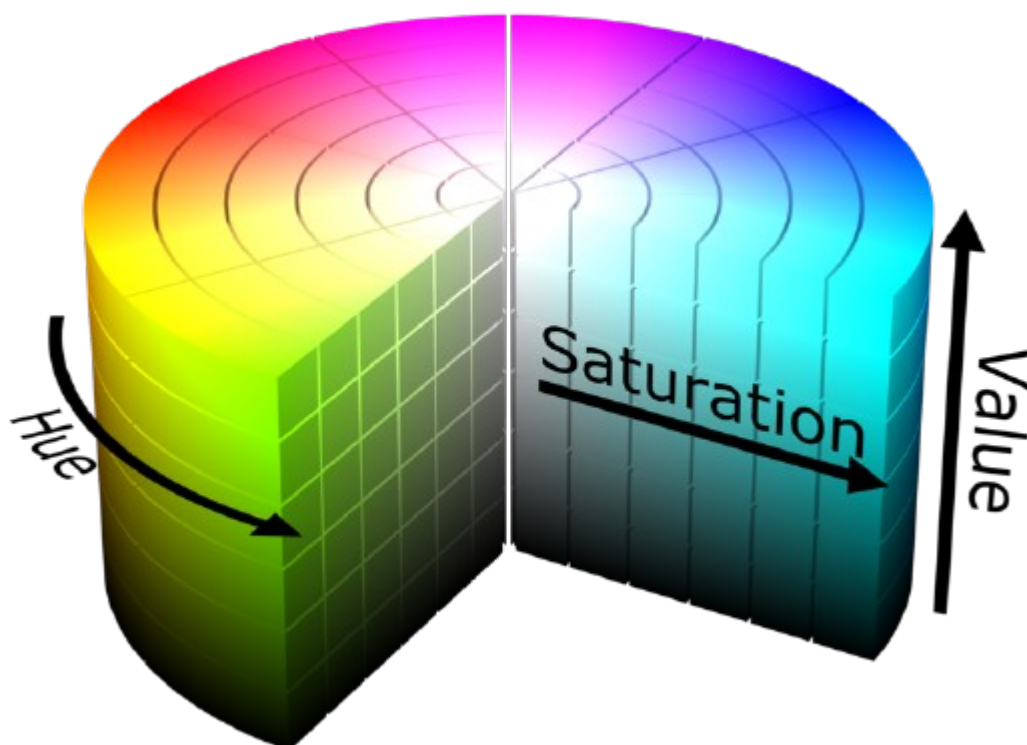


Kuva 17. Eri väriyhdistelmiä kuvattuna väriympyrällä (Press & Release, 2020).

Usein taiteessa käytettyjä väriyhdistelmiä ovat vastavärit. Ne asettuvat väriympyrällä täysin vastakkaisille puolille ja korostavat näin toisiaan. Vierivärit tarkoittavat vierekkäisiä värejä, kuten oranssia ja keltaista. Värien yhdistelmiä on monia erilaisia, esimerkiksi kolmen tai neljän värin yhdistelmiä. Näissä yhdistelmissä värit ovat yhtä kaukana toisistaan väriympyrällä ja muodostavat kolmion (kuva 17. viimeinen esimerkki vasemmalta) tai neliön. Yhtä väriä on myös mahdollista käyttää; silloin käytetään hyväksi värin valööriä eli tummuusastetta (Kuva 17. ensimmäinen esimerkki vasemmalta).

Värejä voidaan yhdistellä monia eri sääntöjä seuraamalla, mutta olennaista on pohtia myös niiden psykologisia merkityksiä eri konteksteissa. Eri väreihin liitetään erilaisia uskomuksia ja ne herättävät ihmisissä erilaisia tunteita. Niitä käytetään eri tarkoituksiin. Esimerkiksi punainen väri on lämmin, se nostaa verenpainetta ja herättää ruokahalua, kun taas sininen väri on kylmä, se rauhoittaa sekä vähentää ruokahalua (Sierilä, 2023). Niillä voidaan myös viestiä kontekstista riippuen eri asioita. Esimerkiksi videopeleissä punaista väriä käytetään kuvaamaan vihollista, kun taas sinisellä värillä voidaan kuvata liittolaista. Kiinalaisessa kulttuurissa punainen väri tarkoittaa hyvää onnea ja menestystä, kun taas länsimaisessa kulttuurissa sen merkitys liitetään intohimoon ja vaaraan (Fussell, 2023).

4.2 Värikylläisyys ja valööri



Kuva 18. Väriin sävy (hue), värikylläisyys (saturation) ja valööri (value) (Wikipedia, 2010).

Värien suhteet toisiinsa ja niiden yhdisteleminen on vain yksi osa väriymmärrystä. Väriin kylläisyyden ja valöörin käsittäminen on tärkeää sekä kolmiulotteisuuden että huomion kiinnittämisen kannalta. Taiteen katsojaa ei haluta ylikuormittaa ylimääräisellä tai turhalla visuaalisella informaatiolla, vaan huomio halutaan kiinnittää kontekstin kannalta tärkeisiin elementteihin. Maalaustaiteen väreissä puhuttaessa tämä onnistuu parhaiten valöörin ja kontrastin avulla.



Kuva 19. Esimerkki värikylläisyydestä (saturation) (Cut Paste Photos Pro, 2019).

Värikylläisyydellä (saturation) tarkoitetaan värin intensiteettiä. Se toimii hyvin samalla tavalla kuin kontrasti, mutta valojen ja varjojen sijaan sillä säädetään värien puhtautta: Mitä pienempi värikylläisyys, sen lähempänä väri on mustavalkoista väriskaalaa. Korkea värikylläisyys saa värin näyttämään elävämmältä ja se vetää katseen puoleensa. Kuvassa 19. vasemmalla on korkea värikylläisyys ja huomio kiinnittyy kirkkaansiniseen mereen sekä keltaiseen auringonlaskuun. Oikealla on matala värikylläisyys ja huomio kiinnittyy taivaan sekä veden sijasta tummaan laituriin ja sen päällä seisovaan henkilöön. Kuvassa on myös hyödynnetty vastavärien käyttöä, (keltainen ja sininen) jotka saavat toisensa ponnahtamaan katsojan silmille.



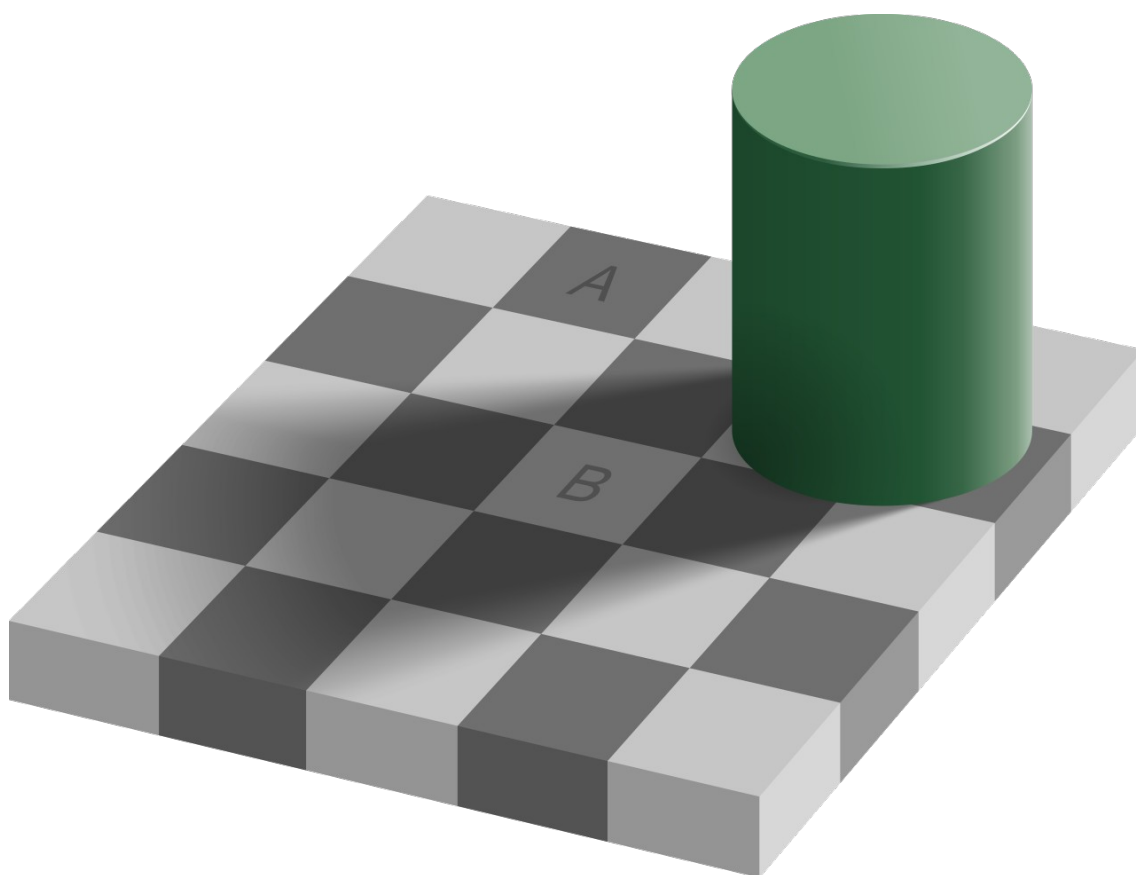
Kuva 20. James McNeill Whistler:in maalaama muotokuva hänen omasta äidistään vuonna 1871 (Wikipedia, 2012).

Valööri (value) eli tummuusaste tarkoittaa miten paljon väriin lisätään mustaa tai kuinka vaalea se on. Toisin sanoen valöörillä säädellään valojen ja varjojen määrää. Oikeassa maailmassa väri on harvoin täysin mustaa tai valkoista ja taiteilija käyttää eri harmaasävyjä syvyyksilluusion luomiseksi (Chandramouli 2022, 90). Maalaustaiteessa valöörin muuttamisesta puhutaan värin taittamisella. Se on kolmiulotteisuuden kuvaamisen kannalta yksi värin merkittävimmistä ominaisuuksista, mutta se ohjaa myös katseen kohdistumista (Pantelić, 2017). Valöörillä on tärkeä rooli myös tunnelman rakentamisessa, koska sillä säädetään valon määrää. Valaisun intensiteetti säätelee kuvan tai teoksen ilmapiiriä (Chandramouli 2022, 90).

Kuvassa 20. katse on ohjattu henkilön kasvoihin ja seinällä roikkuvaan tauluun, joissa värit ovat taitettu valkoiseen. Naisen musta mekko sekä taulun mustat reunukset korostavat näitä vaaleita elementtejä samalla tavalla kuin verhon tumma pohja korostaa sen vaaleita kuvioiteja. Värin eri sävyjen valööriarvoja on helpompi huomata muuttamalla kuva mustavalkoiseksi. Jokaisella sävyllä on

oma valööriarvonsa, esimerkiksi kaikkein puhtain keltainen ei ole ikinä yhtä tumma kuin kaikkein puhtain sininen.

Käsimaalatussa teksturointiprosessissa valot ja varjot maalataan yleensä yhteen ja samaan tekstuurikarttaan värien kanssa. Nämä valot ja varjot syntyvät valöörin ansiosta eivätkä ne ole riippuvaisia 3D -tilan omista valonlähteistä. Ne eivät kuitenkaan itsessään tuota valoa, vaan luovat illuusion siitä, kuin valo osottaisi niihin tietystä suunnasta.



Kuva 21. Edward H. Adelsonin luoma illuusio, jossa shakkiruuduilla A ja B on sama valööriarvo (Adelson, 1995).

Katseen kohdistamisen kannalta valööri toimii paremmin kuin huomiota herättävät värit tai niiden korkea värikylläisyys. Se säätelee valkoisen ja mustan määrää tuoden huomiota herättävät osat esiin valoisuudella ja jättäen vähemmän muut osat varjoon. Se miten ihmisen silmä erottaa samat

valööriarvot on täysin riippuvaista niitä ympäröivistä valööriarvoista, kuten Adelsonin illuusiosta voi huomata.

4.3 Kontrasti

Kontrastilla tarkoitetaan kahden vastakkaisen elementin vuorovaikutusta. Kontrastia käytetään visuaalisen mielenkiinnon herättämiseen. Joidenkin lähteiden mukaan siitä puhutaan yhtenä taiteen periaatteista, mutta se kattaa alleen yleensä useamman näistä. Vastakkaisten elementtien vuorovaikutusta voidaan tuoda esiin niin väreillä, tekstuureilla tai kokoeroilla. Hyvänä esimerkkinä kontrastista toimii mustan ja valkoisen värin tai suuren ja pienen muodon vastakkainasettelu (Pantelić, 2017).

4.4 Harmonia

Harmonia on ehkä verrattain merkittävin taiteen periaatteista. Se tarkoittaa, että teoksen kaikki osat ovat tasapainossa eivätkä kilpaile keskenään vaan luovat miellyttävän ja yhtenäisen kokonaisuuden, täydentäen toisiaan. Harmonia edellyttää, että elementit toimivat yhdessä, vaikka ne toistuisivat tai erottuisivat muista. Kaaos ja monotoonisuus voivat olla tasapainossa yhdessä, mutta harvemmin ne toimivat erikseen.

Harmonia voidaan jakaa kolmeen eri tyyppiin. Värin ja valöörin harmonia pitää sisällään aikaisemmin käsittelemäni asiat, eli sen, että värit ja niiden valööriarvot toimivat keskenään. Muoto- ja rakenneharmonia tarkoittaa tasapainon löytämistä toistuvien muotojen tai niiden muodostamien kuvioiden kokonaisuudella. Tekstuuriharmoniolla viitataan yleensä maalaustaiteessa erilaisten maalaustekniikoiden avulla luotuun tasapainoon. Paksut maalikerrokset luovat taulukankaalle erilaisia tekstuureita, joista hyvänä esimerkkinä toimii Vincent Van Goghin impasto -tekniikka. Tämä tekniikka jättää näkyviä siveltimenvetoja ja saa maalauksen näyttämään melkein kolmiulotteiselta. (Sok, 2023)

5 Projektiosuus

Tämä luku pitää sisällään opinnäytetyön projektiosuuden. Käytän hyväkseni aikaisemmissa kappaleissa opittuja ja havainnoituja asioita sekä toteutan niiden avulla oman konseptin pohjalta käsinteksturoidun low poly -mallin. Tämän 3D -mallin tarkoitus on olla polygonmäärältään ja tekstuurikartoiltaan niin yksinkertainen, että sitä voisi käyttää esimerkiksi Unity:n pelimoottorissa. En keskity kuitenkaan propin optimointiin vaan tyyliin ja maalausmaisen tekstuurin toteuttamiseen.

5.1 Suunnittelu



Kuva 22. Alkuperäinen suunnitelma teksturoitavasta objektista.

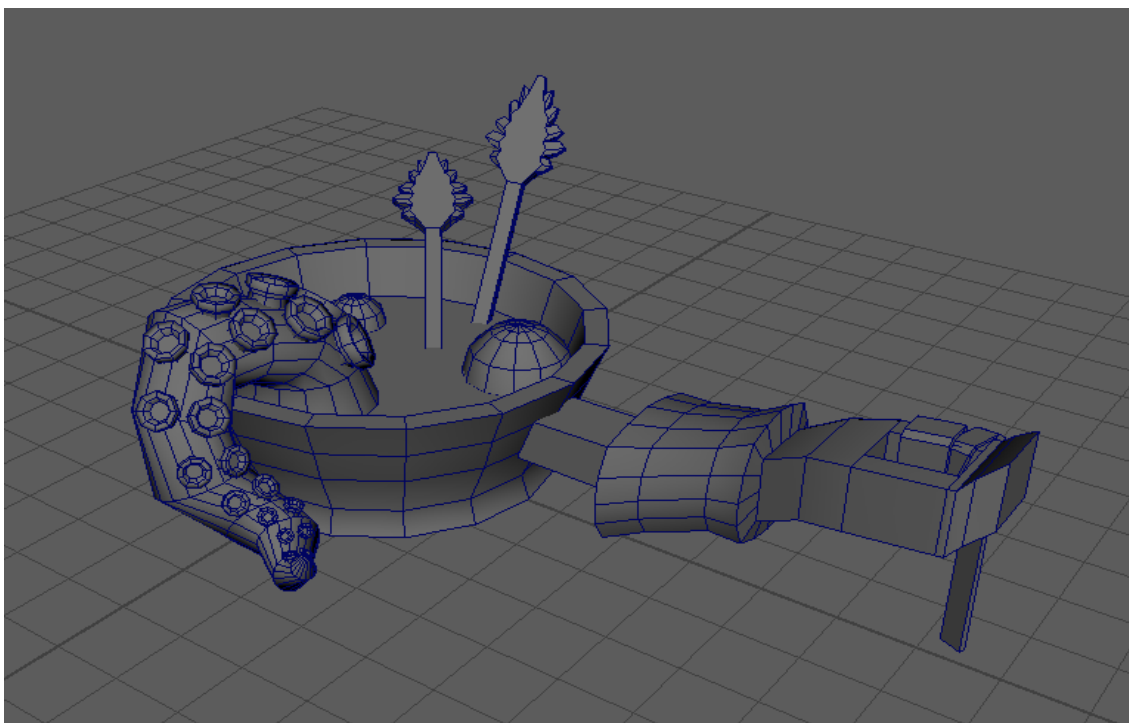
Halusin suunnitella jonkin yksinkertaisen, mutta teksturoinnin kannalta tarpeeksi monipuolisen objektin. Tavoitteena oli, että objektia voisi käyttää

peliympäristössä toimivana proppina. Päädyin ruoalla täytettyyn tyylieltyyn kattilaan sillä sain sisällytettyä siihen erilaisia materiaaleja, kuten metallia, puuta, kangasta, nestettä sekä erilaisia aterian ainesosia. Toinen vaihtoehto olisi ollut keskittyä vain yhden tai kahden materiaalin jäljittelyyn, mutta halusin projektiin hieman haastetta. Ajattelin, että monipuolisuus toisi myös mielekkyyttä ja vaihtelua teksturointiin. Inspiraation lähteinä toimivat Studio Ghibli:n animaatioelokuvien maalausmaiset taustat sekä Riot'in peleissä ja animaatioissa käytetty grafiikkatyö. En halunnut jäljitellä kumpaakaan inspiraation lähdettä vaan käytin niitä puhtaasti jonkinlaisen oman tyyli-suunnan löytämiseksi.

Käytin suunnitteluvaiheessa enemmän aikaa vastaavanlaisten 3D-objektien ja 2D-piirrosten tutkimiseen sekä tutoriaalien katselamiseen, kuin itse suunnitelman piirtämiseen. Oli vaikeaa päättää minkälaista objektia alkaisin työstämään, joten päätin tehdä nopean ratkaisun, että aikaa ei kuluisi liikaa epäolennaiseen vaiheeseen. Suunnitteluvaiheessa olisi hyvä käyttää runsaasti aikaa esimerkiksi siluettien sekä väri variaatioiden testailuun, mutta halusin päästä toteuttamaan luonnosta mahdollisimman nopeasti 3D-ympäristöön. Jos proppi olisi suunniteltu jo olemassa olevaan peliin eikä siitä olisi vielä ollut konseptitaidetta, olisi tämä vaihe vienyt huomattavasti enemmän aikaa ja vaatinut ajatustyötä. Silloin proppia suunnitellessa olisi pitänyt pohtia mihin käyttötarkoitukseen se olisi tarkoitettu.

Olin suhteellisen tyytyväinen ensimmäiseen luonnokseen, joten päädyin siihen. Värit eivät ehkä osuneet nappiin ensimmäisellä kerralla, mutta niitä voisi säädellä myöhemmissä vaiheissa. Jätin suunnitelmasta pois kattilan alla lepäävän leikkuulaudan koska halusin pitää projektin yksinkertaisena sekä keskittyä enemmän kattilan yksityiskohtiin.

5.2 Mallintaminen



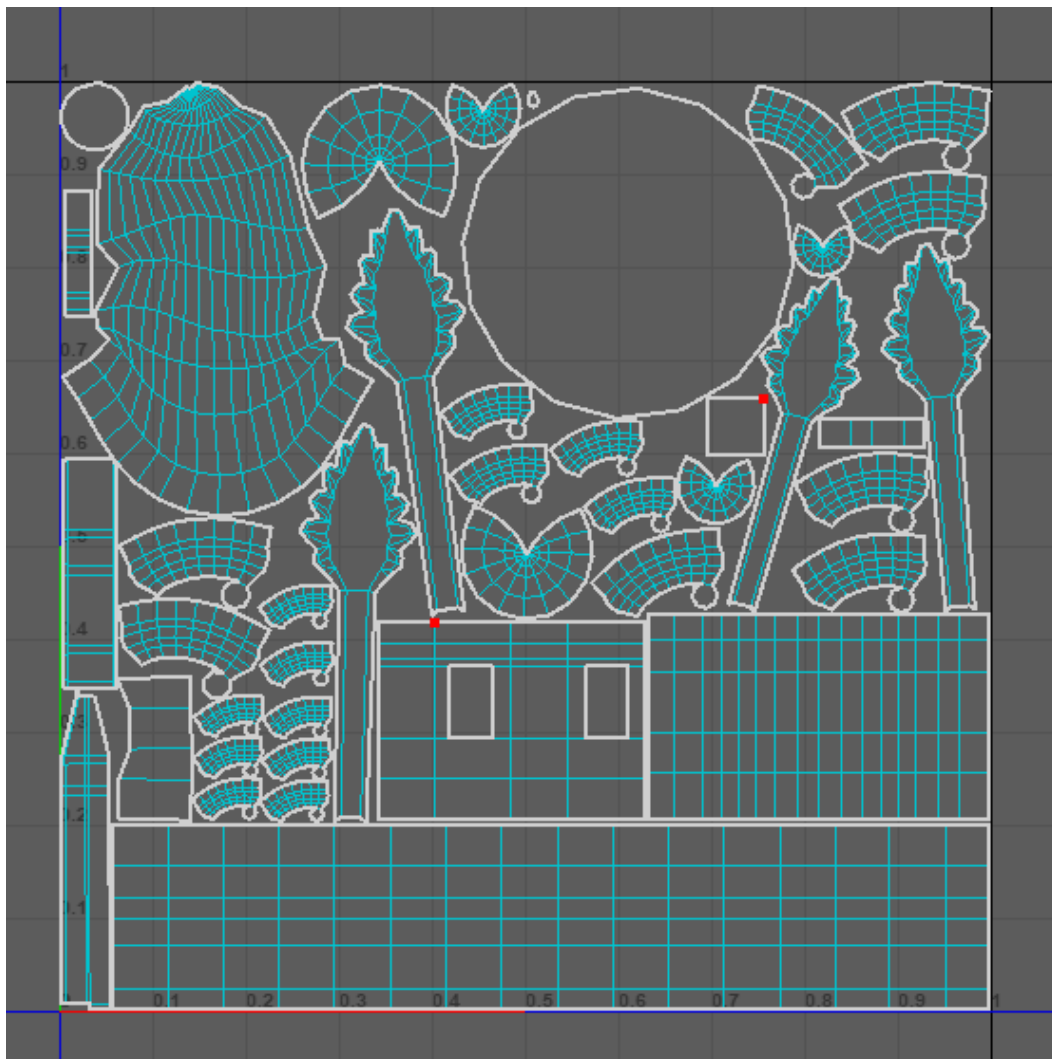
Kuva 23. Mallinnettu objekti Maya:n viewport:issa.

Mallintamisen suoritin kokonaan Maya:n 2022 versiolla. Halusin, että objektia voisi käyttää esimerkiksi Unity:n pelimoottorissa, joten yritin pitää polygonien määrän mahdollisimman alhaalla ja jätin looppeja vain sellaisiin kohtiin, joissa ne vaikuttivat mallin siluettiin. N-goneja jätin esimerkiksi viherkasvien ja sopan tasaisille pinnoille, koska niissä tekstuuri ei vääristynyt huonosta geometriasta riippumatta. Muissa osissa geometria muodostuu nelikulmaisista polygoneista. Objektin eri osat eivät ole yhtenäistä geometriaa toistensa kanssa, vaan ne ovat yhdistetty combine -työkalulla yhdeksi objektiksi. Yhtenäinen geometria ei ole aina edullinen peleihin tarkoitetuissa propeissa. Se voi lisätä polygonien määrää hidastaen sekä työn tekoa että pelimoottoria (Abbitt, 2021). Joissakin tapauksissa, kuten animoiduissa objekteissa yhtenäinen geometria on tärkeämpää. Propien teko on aina pelimoottorista riippuvaista ja eri propeille toimivat erilaiset mallintamistekniikat. Tätä proppia ei ole tarkoitettu animoitavaksi eikä sitä ole suunniteltu millekkään tietylle pelille.

5.3 Teksturointi

Teksturointiprosessin jaoin kolmeen osaan; UV-kartoitukseen, valmisteluun ja teksturoinnin maalaamiseen, joista viimeinen vaihe oli työläin. Teksturoinnin päätyövälineiksi valitsin Maya:n, 3D Coat:in (3D-ohjelma), Substance Painter:in (3D-maalaustyökalu) ja Adobe Photoshop:in (kuvankäsittelyohjelma). Monet katsomistani tutoriaaleista ja ohjeista käyttivät näistä ohjelmista yhtä tai useampaa. Halusin oppia uuden ohjelman käyttöä, mutta pitää työmäärän kuitenkin sen verran kevyenä, että voisin pääosin keskittyä olennaiseen eli tekstuurien maalaamiseen. Onneksi kolme näistä ohjelmista olivat itselleni jo ennestään tuttuja ja jättivät opiskeltavaksi vain 3D Coat:in. Sen suurin ongelma oli sama kuin kaikissa muissakin 3D-ohjelmissa: Erilaiset liikkumistyökalut sekä pikanäppäimet, mutta niihin totuttelu oli suhteellisen nopeaa.

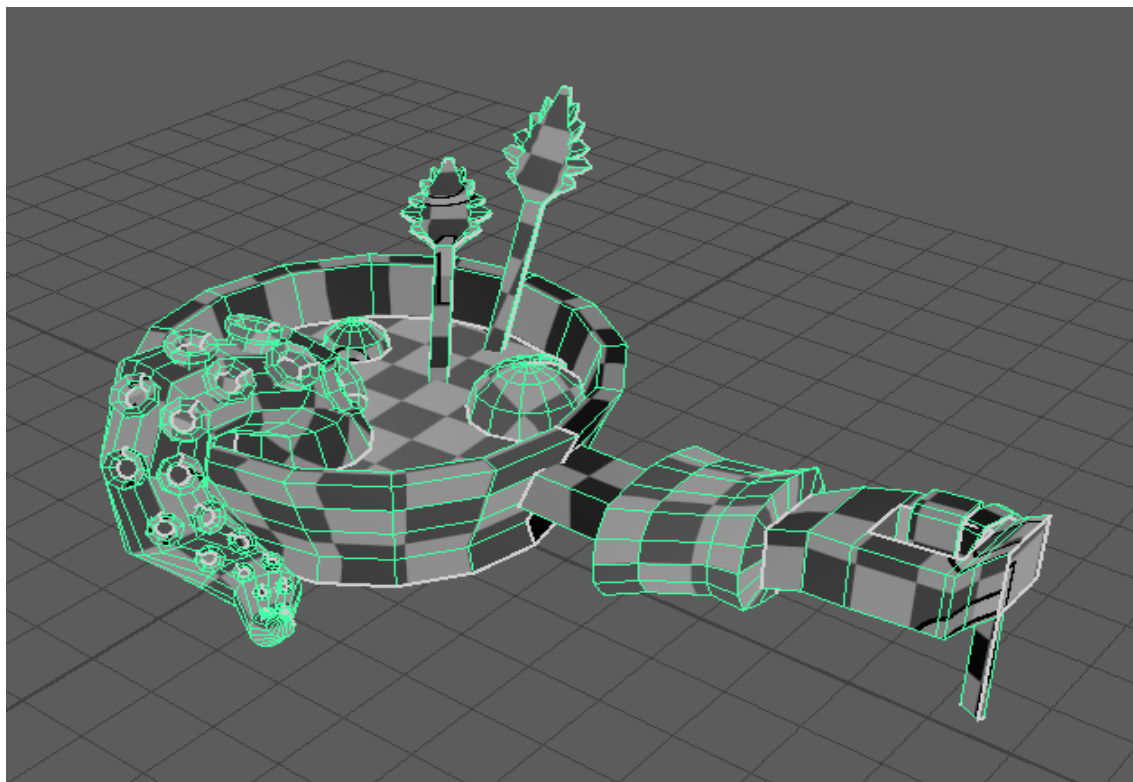
5.3.1 UV-karttoitus



Kuva 24. Järjestetty UV-kartta ilman tekstuuria.

UV-karttoitus sujui kätevästi Maya:ssa. Leikkasin saumat isoimmasta objektista pienimpään. Sijoitin saumat pannussa teräviin kulmakohtiin kun taas lonkeron sauman sijoitin sen alapuolelle mahdollisimman piiloon. Kun kaikki osat oli vihdoin leikattu ja eritelty, sijoittelin ne rauhassa kartastolle niin, että hukkatilaa eri osien välille jäisi mahdollisimman vähän. Isoille osille kuten pannulle, lonkerolle ja sopalle (pyöreä UV -saari) säästin enemmän tilaa, koska niissä on enemmän näkyviä yksityiskohtia. Näiden yksityiskohtien maalaaminen on helpompaa, kun resoluutiota on enemmän eli mitä enemmän tilaa kyseinen osa vie UV-kartalla. Yritin sijoitella samankaltaiset osat tai materiaalit lähelle

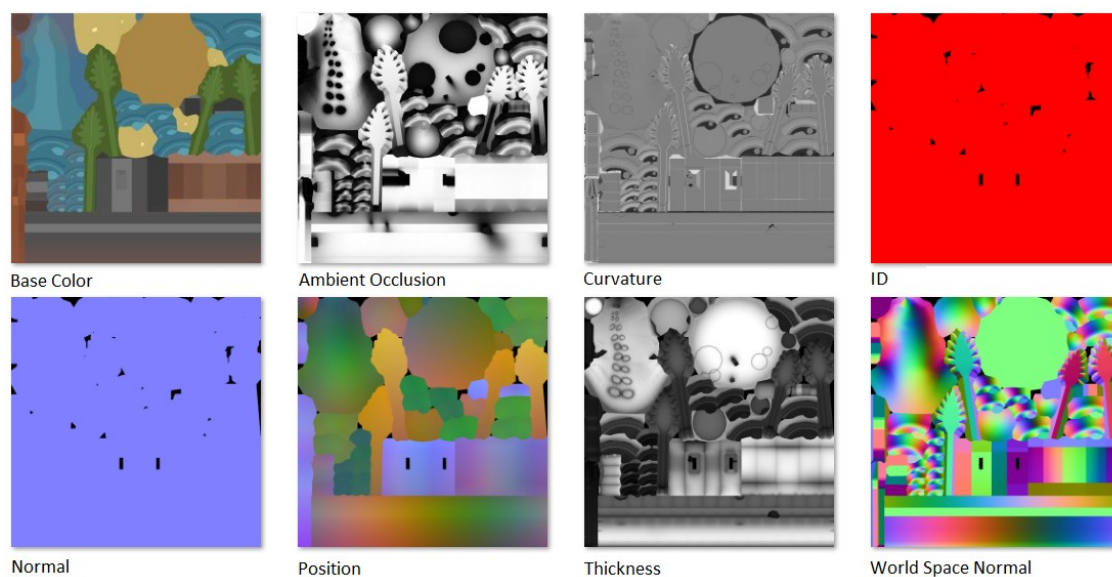
toisiaan, jotta ne olisi helpompi erottaa ja paikantaa teksturointivaiheessa. Jotkin saman materiaalin osat eivät kuitenkaan mahtuneet vierekkäin, joten ne oli asetettava erilleen.



Kuva 25. Objektin saumat ja UV:n asettelu shakkilautatekstuurin avulla.

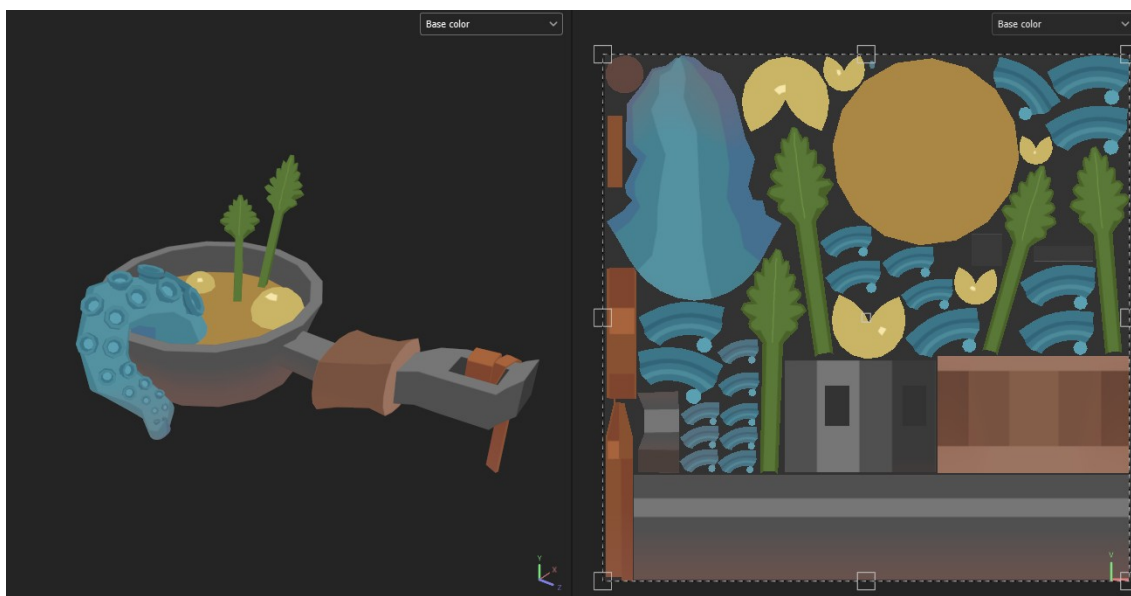
Objektin valkoiset ääriviivat kuvaavat objektille asettamiani saumoja. Shakkilautatekstuurin avulla näin kohdat, joista pinta oli vääristynyt. Sain korjattua suurimmat vääristymät uusilla saumoilla ja suoristamalla eri osien UV-karttoja. Shakkilaudan ruutujen koosta näkee vääristymien lisäksi myös sen, jos resoluutio ei ole tasaista joka puolella. Esimerkiksi, jos osa ruuduista olisi huomattavasti suurempia kuin muut, sen alueen tekstuurin resoluutio olisi pientä.

5.3.2 Valmistelu



Kuva 26. Objektin tekstuurikartat tehtynä Substance Painter:illa.

Kun UV-kartoitus oli valmis, siirsin objektin Substance Painter:iin muuttamalla sen ensin FBX -tiedostomuotoon. Valitsin tekstuurin resoluutioksi 2048x2048 pikseliä. Resoluutio voisi olla pienempi, mutta halusin tilaa yksityiskohdille, sillä proppi voisi olla näkyvällä paikalla eikä se ollut ensisijaisesti tarkoitettu vain taustalle. Pelitaiteessa, varsinkin tekstuureissa on hyvä työskennellä isoilla resoluutioilla ja tallentaa ne tarvittaessa pienempään muotoon (Kaasinen, 27). Substanssessa bakesin sille erilaisia tekstuurikarttoja kokeilun vuoksi. Ajattelin, että albedo -tekstuurikartan lisäksi voisin kokeilla ympäristövalokartan hyödyntämistä. Sen avulla voisin asettaa objektille teeskenteltyjä varjoja ilman käsityötä. Muita tekstuurikarttoja en varsinaisesti tarvinnut, mutta halusin testata miltä ne näyttäisivät. Näitä tekstuurikarttoja voisi hyödyntää myöhemmin tarvittaessa, jos objektille haluaisi esimerkiksi teeskenteltyjä pinnaneroja normal -tekstuurikartalla tai kulumaa reunakohtiin curvature -tekstuurikartalla.



Kuva 27. Tekstuurin pohjavärit kolmiulotteisessa ja kaksiulotteisessa muodossa.

Baking:in jälkeen valitsin objektin jokaiselle eri osalle tai materiaalille oman värinsä selkeyttämään kokonaiskuva. Värien valitsemisessa käytin apuna väriympyrää ja päädyin eri kokeilujen kautta vieriväreihin. Yhdistelin Lämpimiä ja kylmiä sävyjä. Suunnitelman liila lonkero vaihtui siniseen ja punainen nauha oranssiin, koska ne näyttivät omaan silmään harmoonisemmalta muiden värien kanssa. Yritin saada katseen kiinnittymään kylmänsiniseen lonkeroon ympäröimällä sitä lämpimillä väreillä ja valitsemalla enemmän keltaiseen väriin taittavan vihreän sävyn kasviksille.

Layereiden avulla maalasin väreille myös kuvitteelliset valot ja varjot. Tämä onnistui helposti valitsemalla osia polyselect-työkalulla ja maskaamalla eri tummuuserot mustalla fill-layer:illa. Lisäsin valojen ja varjojen lisäksi oranssin gradientin joka näkyy parhaiten kattilan pohjassa. Pieni kuluma tai ruoste kattilan metallissa olisi helppo lisätä tässä vaiheessa teksturointia, mutta halusin enemmän kontrollia yksityiskohtiin tekemällä ne tarvittaessa käsin.

5.3.3 Teksturoiden maalaus



Kuva 28. Tekstuurien käsinmaalaus vaiheessa.

Seuraavaksi siirsin objektin 3D Coat -ohjelmaan ja aloin maalaamaan yksityiskohtia. Koska ohjelman maalaustyökalu oli hieman hidas ja takkuileva, tallensin objektin albedo -tekstuurikartan ja siirsin sen Photoshop:iin, jossa kokeilin ensin maalata puun yksityiskohdat. Tallensin uuden tekstuurikartan ja päivitin sen näkyviin 3D-mallille. Keskityin vain puuseen osaan, koska yritin löytää sitä työstämällä itseäni miellyttävän näköisen tyyliuunnan jota voisin seurata. Kun olin tyytyväinen lopputulokseen, tein yksityiskohdat jokaiselle objektin osalle samaa kaavaa seuraten. Päivitin tekstuurikartan 3D-mallille aina, kun olin saanut yhden osan tehtyä nähdäkseni sen kolmiulotteisena. Tekstuurikartan päivittäminen oli helppoa ja maalausjäljen nopea tarkastelu teki prosessista mielekäästä. Joitakin objektin osia oli vaikea maalata Photoshop:in puolella, joten päädyin käyttämään taas 3D Coat:in maalaustyökalua. Vaihtelin

Photoshop:in ja 3D Coat:in välillä, siirtyen maalatessa aina pienempiin yksityiskohtiin. Photoshopin puolella oli helpompi tehdä isoja muutoksia, kuten värien säätöä kirkkaammaksi, kun taas 3D Coat:in puolella maalasin yksityiskohtia. Päädyin käyttämään pelkästään pyöreää sivellintä molemmissa ohjelmissa, sillä se oli yksinkertaisuudessaankin tarpeeksi monikäyttöinen.



Kuva 29. Valmiiksi maalatut tekstuurit.

Maalausprosessi oli hyvin intuitiivista ja aikaisempi kokemus piirtämisestä sekä maalaamisesta auttoi. Käytin hyväkseni referenssikuvia esimerkiksi puun rungosta, viherkasveista ja mustekalan lonkeroista. 3D Coat:in valaistus saa värit näyttämään hieman likaisilta, mutta kuva ei ole valmiiksi renderöity tai edes valaistettu.

Käytin useita layer:eitä ja tallensin tekstuureista useita versioita, jotta voisin helposti palata takaisin. Tämä mahdollisti sen, että jos uudet yksityiskohdat

eivät onnistuneet haluamallani tavalla, voisin palata takaisin aikaisempaan versioon ja yrittää uudelleen ilman, että kaikkea työtä tarvitsisi tehdä uudelleen. Kaikki eri materiaalit olisi helposti voinut tehdä omille layer:eilleen, mutta omaan työtapaani sopi parhaiten eri vaiheiden layer:öinti.

6 Yhteenveto ja pohdinta

Opinnäytetyön tarkoitus oli perehtyä käsinmaalattuihin tekstuureihin. Aihetta lähestyin tutustumalla ensin erilaisiin tekstuurikarttoihin ja sitten maalaustaiteessa käytettyihin periaatteisiin. Niiden avulla toteutin projektin, jossa uutta tietoa hyödyntämällä syntyi kolmiulotteinen, käsinmaalattu ja tyyllitelty soppakattila.

Kolmiulotteisen objektin maalaaminen on haasteellisempaa ja työläämpää kuin taulukankaan, mutta sitäkin mielenkiintoisempaa. Uuden ohjelman opettelu oli tutoriaalien avulla suhteellisen nopeaa ja vaivatonta, mutta työn tekoa helpotti myös huomattavasti muiden projektissa käytettyjen ohjelmien ennalta osaaminen. Perusasioiden kertaus ja opettelu auttoi hahmottamaan mikä oli tekstuurikarttojen puitteissa mahdollista ja mikä ei. Ne antoivat hyvän pohjan myös tulevaisuuden projekteihin, joissa voisi käyttää muitakin kuin albedo - tekstuurikarttaa jota tässä projektissa käytin.

Mallinnus oli ennestään tuttua ja sujui suoraviivaisesti. Myöhemmissä vaiheissa huomasin tarpeettomia looppeja ja poistin niitä paikoista, joissa ne eivät vaikuttaneet siluetin muotoon. UV-kartoituksessa ei ilmennyt isoja ongelmia, erityisesti saumojen paikat oli helppo löytää. Aikaa vei niiden kohtien suoristaminen, joissa tekstuurissa esiintyi epätoivottuja vinoumia, mutta onneksi niitä oli vähän. UV-kartan asettelussa huomasin jälkeinpäin, että eri osien välille olisi voinut jättää reippaammin tilaa maalaustyön ”vuotokohtien” vuoksi.

Sävvy maailma oli mielessäni aika selkeä ja valitsin vierivärejä sen vuoksi, etteivät värit taistelisi huomiosta keskenään. Säätelin mallin mustavalkoiseksi tarkistaakseni, että sen valöörit eivät olisi liian latteat. Esimerkiksi lonkeron

varjokohdat olivat aluksi liian vaaleat, eikä sitä meinannut huomata ennen kuin värikylläisyyden laski harmaasävyihin.

Itse teksturoinnissa pohdin paljon valon suuntaa ja sitä, miten se vaikuttaisi eri materiaaleihin. Esimerkiksi puun materiaalissa ei ole voimakkaita valoja tai varjoja, kun taas metallissa on selkeitä valoa heijastavia kovia reunoja. Käytin mustan ja valkoisen sijasta värejä valo- ja varjokohdissa. Musta saisi värimaailman näyttämään liian ankealta, sen sijaan eri värit toivat visuaalista mielenkiintoisuutta.

Tekstuurit eivät loppujen lopuksi näyttäneet täysin siltä, mitä olin päässäni kuvitellut. Aikaisempi kokemus teksturoinnista oli vähäistä ja käsinmaalattu teksturointi oli minulle täysin uusi asia. Monet yksityiskohdat ovat liian pieniä ja esimerkiksi sopan vetisyyttä oli vaikea maalata. Yritin saada soppaan hieman eloa ja liikettä pienillä aalloilla. Ilmakuplissa ei ole läpinäkyvyyttä ja ne näyttävät siksi enemmän perunoilta kuin ilmakuplilta. Kaikesta huolimatta tyyli suunnan löytäminen onnistui, mutta maalausmaisuus olisi voinut olla selkeämpi niin, että siveltimen vedot olisi erottanut paremmin.

Projektin toteutu oli hauskaa haasteistaan huolimatta. Opin paljon siitä, miten tärkeää on katsoa mallia jatkuvasti eri kuvakulmista ja kokeilla erilaisia värejä niin valoissa kuin varjoissa. Koko prosessi on hyvin intuitiivista ja vaatii ymmärrystä niin väreistä kuin siitä, miten valo käyttäytyy ja ponnahtelee erilaisten materiaalien pinnoilta. Siveltimillä on myös merkitystä riippuen siitä, minkälaista maalausjälkeä haluaa toteuttaa. Käsinmaalatuissa tekstuureissa etuna on niiden helppo muokattavuus. Missä tahansa vaiheessa projektia pystyin palaamaan takaisin aikaisempiin vaiheisiin ja muokkaamaan esimerkiksi geometriaa ilman, että tekstuurit kärsivät. Harmillisesti renderöintivaihe jäi pois, sillä aika ei riittänyt.

Opinnäytetyön tekeminen oli osittain jo opitun kertausta, mutta uusi tieto ja sen soveltaminen käytäntöön sekä vahvisti että laajensi osaamisaluetani

teksturoinnin saralla. Tutkimiani asioita, menetelmiä ja työkaluja on helppo hyödyntää muissakin projekteissa, kuin käsinmaalatuissa low poly -malleissa.

Lähteet

- 1 Adelson, Edward 1995. Adelson's Checker-shadow illusion. <<https://michaelbach.de/ot/lum-adelsonCheckShadow/>> (luettu 15.3.2024).
- 2 Aftab, Ali 2023. Blender: UV Mapping – Simply Explained. <<https://all3dp.com/2/blender-uv-mapping-simply-explained/#i-1-what-is-it>> (luettu 9.2.2024).
- 3 Allegorithmic, ?. The PBR Guide - Part 2. <<https://creativecloud.adobe.com/cc/learn/substance-3d-designer/web/the-pbr-guide-part-2>> (luettu 12.2.2024).
- 4 Anthony, Rachel 2021. Elements and Principles of Design. <<https://tylermuseum.art/2021/09/01/elements-and-principles-of-design/>> (luettu 15.3.2024).
- 5 Atkinson, Ben 2023. What are the advantages and disadvantages of using procedural textures versus image-based textures? <<https://www.linkedin.com/advice/1/what-advantages-disadvantages-using-procedural-textures>> (luettu 13.2.2024).
- 6 Autodesk, 2009. Extract an ambient occlusion map. <<https://download.autodesk.com/esd/mudbox/help2009/index.html?url=WS73099cc142f487551a80ae1b11df600637e-265.htm,topicNumber=d0e18902>> (luettu 9.2.2024).
- 7 A23D, 2023. Difference between PBR Metallic and Specular Workflow. <<https://www.a23d.co/blog/pbr-textures-metallic-vs-specular-workflow>> (luettu 12.2.2024).
- 8 Chaos docs, 2022. Corona Curvature Map. <<https://docs.chaos.com/display/CRMAX/Corona+Curvature+Map>> (luettu 28.2.2024).
- 9 Chandramouli, Magesh 2022. 3D Modeling and Animation: A Primer.
- 10 Chunduri, Shriya 2022. Understanding Color for UI Design. <<https://medium.com/rutgers-creative-x/understanding-color-for-ui-design-ec53719e880e>> (luettu 15.3.2024).
- 11 Cianci, Lisa 2023. Colour Theory: Understanding and Working with Colour. <<https://rmit.pressbooks.pub/colourtheory1/>> (luettu 15.3.2024).
- 12 Crowder, Ashley 2021. What Are Texture Maps And Why Do They Matter For 3D Fashion? <<https://www.vntana.com/blog/what-are-texture-maps-and-why-do-they-matter-for-3d-fashion/>> (luettu 9.2.2024).

- 13 Cut Paste Photo Pro, 2019. Tips On How To Use Contrast, Brightness, And Saturation. <<https://cutpastephotopro.com/tutorials/cut-paste/contrast-meaning>> (luettu 14.5.2024).
- 14 Denham, Thomas 2019. What is UV Mapping & Unwrapping? <<https://conceptartempire.com/uv-mapping-unwrapping/>> (luettu 2.2.2024).
- 15 Denham, Thomas 2019. Texture Maps: The Ultimate Guide for 3D Artists <<https://conceptartempire.com/texture-maps/>> (luettu 9.2.2024).
- 16 Denham, Thomas 2019. What is an Ambient Occlusion (AO) Map? <<https://conceptartempire.com/ambient-occlusion-map/>> (luettu 27.2.2024).
- 17 Dixon, Sean 2016. UV mapping, texturing and shaders, rigging and animation. <<https://medium.com/@sdixon3/uv-mapping-texturing-and-shaders-rigging-and-animation-be9b4ddf0d48>> (luettu 2.2.2024).
- 18 Emerson, John 2021. Physically Based Rendering (PBR) vs. Non-PBR <<https://3dreference.notion.site/Physically-Based-Rendering-PBR-vs-Non-PBR-7bdebc81a4d543a8b15837aaf13222d6>> (luettu 9.2.2024).
- 19 Fussell, Grace 2022. The Meaning of Colors in Cultures Around the World <<https://www.shutterstock.com/blog/color-symbolism-and-meanings-around-the-world>> (luettu 14.5.2024).
- 20 Geig, Mike 2013. Unity Game Development in 24 hours, Sams Teach Yourself. <<https://www.informit.com/articles/article.aspx?p=2162089&seqNum=2>> (luettu 9.2.2024).
- 21 Glawion, Alex, 2022. What is an Albedo Map and How to use it? <<https://www.cgdirector.com/albedo-map/>> (luettu 27.2.2024).
- 22 Heilala, Matilda 2022. 3D-mallin teksturointi: Kameraprojektioiden hyödyntäminen käsinmaalattujen tekstuurien luomisessa. Opinnäytetyö. Helsinki: Metropolia Ammattikorkeakoulu, Viestintä. <<https://www.theseus.fi/handle/10024/785160>>
- 23 Kaasinen, Inka 2023. Texturing Process in Hand Painted Low Poly Game Art. Opinnäytetyö. Tampere University of Applied Sciences, Interactive Media. <https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/804299/Kaasinen_Inka.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
- 24 Kılıç, Bensu Nur 2023. PBR Textures Metallic vs Specular Workflow. <<https://www.lotpixel.com/blog/pbr-textures-metallic-vs-specular-workflow>> (luettu 9.2.2024).

- 25 Li, Marina 2019. The 7 Elements of Art and Why Knowing Them Is Important. <<https://www.thoughtco.com/what-are-the-elements-of-art-182704>> (luettu 14.5.2024).
- 26 Manastireanu, Maria-Ioana 2022. Texturing Study Part 1. <<https://www.artstation.com/blogs/marria-ioana/89Nj/texturing-study-part-1>> (luettu 28.2.2024).
- 27 Marmoset, 2021. Physically-Based Rendering, And You Can Too! <<https://marmoset.co/posts/physically-based-rendering-and-you-can-too/>> (luettu 9.2.2024).
- 28 Mesquita, Luis, 2021. Everything About PBR Textures And A Little More - PART 2. <<https://www.artstation.com/blogs/luismesquita/jGXd/everything-about-pbr-textures-and-a-little-more-part-2>> (luettu 27.2.2024).
- 29 Mason, Austin 2015. Making 3D Models with Photogrammetry. <<https://thehaskinssociety.wildapricot.org/resources/Documents/Tutorials/PhotogrammetrywithPhotoScanTutorial.pdf>> (luettu 14.5.2024).
- 30 Moś, Michał, 2020. How displacement maps work and how to optimize them in V-Ray Part 1. <<https://garagefarm.net/blog/how-displacement-maps-work-and-how-to-optimize-them-in-v-ray-part-1>> (luettu 27.2.2024).
- 31 Muttaqien, Widhi 2017. Tutorial: Modeling, UV Unwrapping and Texturing a Mushroom. <<https://www.blendernation.com/2017/04/22/tutorial-modeling-uv-unwrapping-texturing-mushroom/>> (luettu 28.2.2024)
- 32 Omernick, Matthew 2004. Creating the ART of the GAME.
- 33 Pantelic, Silka 2017. Value in Art - Understanding One of the Art Elements. <<https://www.widewalls.ch/magazine/value-in-art>> (luettu 14.5.2024).
- 34 Pantelic, Silka 2016. What is Contrast in Art? Examples and Definition. <<https://www.widewalls.ch/magazine/contrast-in-art-and-the-value-of-the-opposites>> (luettu 14.5.2024).
- 35 Plowman, Justin 2016. 3D Game Design with Unreal Engine 4 and Blender.
- 36 Pluralsight, 2022. Understanding UV:s Love or Hate Them, They're Essential. <<https://www.pluralsight.com/blog/film-games/understanding-uvs-love-them-or-hate-them-theyre-essential-to-know>> (luettu 9.2.2024)
- 37 Pluralsight, 2022. Differences between Displacement, Bump and Normal Maps. <<https://www.pluralsight.com/blog/film-games/bump-normal-and-displacement-maps>> (luettu 27.2.2024).

- 38 Press & Release 2020. The Science of Choosing the Right Ink Colors. <<https://www.pressandreleaseprinting.com/the-science-of-choosing-the-right-ink-colors/>> (luettu 14.5.2024).
- 39 Rivaliant, Miles 2013. Reality Luxrender Specular vs Gloss Guide. <<https://www.deviantart.com/rivaliant/art/Reality-Luxrender-Specular-vs-Gloss-Guide-413676925>> (luettu 27.2.2024).
- 40 Sierilä, Jaana 2023. Tunnetko värit? <<https://www.jasie.fi/post/tunnetko-v%C3%A4rit>> (luettu 14.5.2024).
- 41 Sierilä, Jaana 2023. Värien psykologiaa – Sininen. <<https://www.jasie.fi/post/varien-psykologiaa-sininen>> (luettu 14.5.2024).
- 42 Sok, Anna 2023. What is Harmony in Art? 3 Types, Definition, Examples <<https://yourartpath.com/what-is-harmony-in-art-3-types-definition-example>> (luettu 14.5.2024).
- 43 Tan, Cherie 2022. Texture vs. Materials in 3D Modeling: What's the difference? <<https://www.makeuseof.com/textures-vs-materials-3d-modeling/>> (luettu 9.2.2024).
- 44 Tan, Cherie 2023. Blender: Procedural Texturing - Simply Explained. <<https://all3dp.com/2/blender-procedural-texture-tutorial/>> (luettu 13.2.2024).
- 45 Tiigimägi, Siim 2023. 3D Texture Maps Fundamentals. <<https://3dstudio.co/3d-texture-mapping/>> (luettu 2.2.2024).
- 46 Whistler, James 1871. Whistler's Mother. <https://en.wikipedia.org/wiki/Anna_McNeill_Whistler#/media/File:Whistlers_Mother_high_res.jpg> (luettu 15.3.2024).
- 47 Wikipedia, 2010. The HSV color model mapped to a cylinder. <https://en.wikipedia.org/wiki/HSL_and_HSV#/media/File:HSV_color_solid_cylinder_saturation_gray.png>

Liitteet

Kuvia valmiista tekstuureista.





