



Osaamista
ja oivallusta
tulevaisuuden
tekemiseen

Janne Kuusela

Tietokonepelin hahmojen haarniskakustomointi tekstuureilla ja maskeilla

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Medianomi (AMK)

Viestinnän tutkinto-ohjelma

Opinnäytetyö

7.5.2019

Tekijä(t) Otsikko	Janne Kuusela Tietokonepelin hahmojen haarniskakustomointi tekstuureilla ja maskeilla
Sivumäärä Aika	35 sivua 7.5.2019
Tutkinto	Medianomi (AMK)
Tutkinto-ohjelma	Viestinnän tutkinto-ohjelma
Suuntautumisvaihtoehto	3D-animointi ja -visualisointi
Ohjaaja(t)	Lehtori Jaro Lehtonen
<p>Tämä opinnäytetyö käsittelee Frozenbyte-peliyrityksen massiivisen avaruuspelein robotti-hahmojen haarniskakustomisaatiota tekstuureilla ja maskeilla. Työn tavoitteena on tutkia, miten haarniskojen 3D-mallit teksturoidaan ja miten niiden ulkonäköä muutetaan helposti käyttäen vain tekstuurikarttoihin tallennettuja maskeja. Tarkoituksena oli kehittää nopea ja tehokas tapa tehdä paljon erilaisia haarniskaversioita hyödyntäen vain tekstuurikarttoja, niin uuteen 3D-mallinnukseen ei tarvitsisi käyttää aikaa. Opinnäytetyön tarkoituksena on havainnollistaa tätä teksturointiprosessia ja, sitä kuinka niin sanottu sävytysmaskitekstuuri avaruuspelissä toimii.</p> <p>Opinnäytetyön alussa kerrotaan, minkälainen peli Frozenbyten avaruuspele on ja miten sen haarniskakustomointi toimii. Sen jälkeen keskitytään lyhyesti avaruuspelein taidetyylin referenssipeleihin, haarniskojen maalaukseen historiallisesti ja kolmen esimerkkipelein haarniskakustomoinnin toteutuksiin. Sitten kerrotaan yleisesti haarniskojen teksturointiprosessista, miksi tekstuurit ovat harmaasävyisiä ja kuinka haarniskojen värjäyksen mahdollistama sävytysmaski toimii. Teksturoinnin jälkeen keskitytään avaamaan haarniskojen pintojen maalikuvioiden ja niiden värjäämiseen liittyvää tekoprosessia. Osana tätä kokonaisuutta ratkotaan myös sävytysmaskiin liittyviä ongelmia.</p> <p>Lopuksi esitellään, miten haarniskakustomointi ja -värjäys toimii avaruuspelein pelimoottorissa, ja pohditaan, kuinka prosessia voisi vielä parantaa. Opinnäytetyö valaisee toteutusta 3D-taiteilijan näkökulmasta ja sitä, kuinka alan käytännöt toimivat avaruuspelein ympäristössä. Esiteltyjä tekniikoita ja periaatteita voidaan hyödyntää erilaisin tavoin muissakin peleissä, ja 3D-taiteilijan on hyvä tuntea käsitteitä, joita opinnäytetyössä esitellään.</p>	
Avainsanat	teksturointi, Substance Painter, peligrafiikka, maskit, hahmot

Author(s) Title	Janne Kuusela Armor Customization with Textures and Masks for Characters in a Computer Game
Number of Pages Date	35 pages 7 May 2019
Degree	Bachelor of Culture and Arts
Degree Programme	Degree Programme in Media
Specialisation option	Professional Major 3D animation and visualization
Instructor(s)	Jaro Lehtonen, Senior Lecturer
<p>This thesis deals with customizing armors with textures and masks for robot characters in a massive space game from Frozenbyte game company. The aim of this work is to study how the 3D models of armors are textured and how their appearance is easily changed using only masks stored in texture maps. The purpose was to develop a fast and efficient way to make a lot of different armor versions using only texture maps, and not spend time on new 3D modeling. The purpose of this thesis is to illustrate this texturing process and how a so-called tintmask texture works in the space game.</p> <p>At the beginning of the thesis, you will find out what kind of a game Frozenbyte is making and how its armor customization works. It then focuses briefly on the reference games for the art style of the space game; armor painting historically; and armor customization of three example games. Then, the texturing process of the armors is explained, why the textures are greyscale and how the tintmask enables dyeing armors. After texturing, the focus will be on opening the process of making paint patterns for the armors and the process of dyeing them. As part of this whole, the problems associated with the tintmask are also solved.</p> <p>Finally, we will discuss how the armor customization and dyeing works in the space game engine and how to improve the process. The thesis illuminates the implementation from the perspective of a 3D artist and how the various practices work in the space game environment. The techniques and principles presented can be utilized in different ways in other games, and it is useful for a 3D artist to know the concepts presented in the study.</p>	
Keywords	texturing, Substance Painter, game graphics, masks, characters

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Avaruuspelin haarniskakustomointi ja sen innoittajat	2
2.1	Avaruuspelin tyylin innoittajat ja historiallista haarniskakustomointia	3
2.2	Suosittujen pelien haarniskakustomoinnista	4
3	Robottihahmojen haarniskojen teksturointiprosessi	7
3.1	3D-mallinnuksesta lyhyesti	7
3.2	UV-kartoittaminen ja verteksien määrä	8
3.3	Leipomisvaihe	9
3.4	Teksturointi Substance painter -ohjelmassa	11
3.5	Perustekstuurit harmaasävyisinä	13
3.6	Värjättävät alueet valkoisiksi ja sävytysmaskin tarkoitus	16
4	Haarniskojen maalikuviot ja niiden haasteet	18
4.1	Sävytysmaskin sisällöstä tarkemmin	18
4.2	Kolme erilaista kuviokokonaisuutta ja niiden yhdistelmät	19
4.3	Kuviot ja sävytysmaski pelimoottorissa	22
4.4	Aluksi UV-saumattomat loistivat valkoisina	23
4.5	Siistit ja tarkat maskit työläitä toteuttaa	25
4.6	Sävytysmaskin kertoimen aiheuttamat valkoiset rajat	27
5	Lopputulokset pelissä ja pohdinta	31
	Lähteet	34
	Kuvalähteet	35

1 Johdanto

Tässä opinnäytetyössä kerron Frozenbyte-peliyrityksen uuden massiivisen avaruusspelein 3D-hahmojen haarniskakustomisaatiosta tekstuurien avulla. Pelin nimeä ei ole tämän työn valmistumisen aikaan vielä julkistettu, joten käytän termiä ”avaruuspeli” opinnäytetyössä. Videopeleissä on vuosien saatossa ollut erilaisia tapoja vaikuttaa siihen, miltä hahmot näyttävät ulkonäön, vaatetuksen ja haarniskojen osalta. Suuret määrät erilaisia vaihtoehtoja ulkonäön muuttamiseen vaativat kuitenkin paljon työtä ja aikaa. Vaivan säästämiseksi, Frozenbytella kehitettiin tapa värjätä 3D-malleja tekstuurikarttojen avulla. Tähän tekniikkaan pureudun tarkemmin opinnäytetyössä.

Toimin 3D-taiteilijana Frozenbytella, ja vastuullani oli avaruuspelin robottihahmojen erilaisten haarniskojen teksturointi ja niiden maalipintojen kuviointi. Tässä opinnäytetyössä käsittelen teksturointiprosessia, eikä siihen liittyviä hyviä käytäntöjä ja haasteita. Kerron myös, kuinka projektissa tehtiin erilaisia maalikuvioita haarniskojen pinnoille ja kuinka nämä kuviot tallennettiin niin sanottuun säilytysmaskiin.

Aloitan kertomalla tarkemmin, mitä haarniskakustomoinnilla haluttiin saavuttaa avaruusspelissä, miten haarniskoja on historiallisesti oikeassa maailmassa maalattu ja miten kustomointi on toteutettu muissa samankaltaisissa peleissä. Kerron lyhyesti avaruuspelin innoittajista ja siitä, kuinka ne ovat vaikuttaneet pelin visuaaliseen tyyliin. Jatkan haarniskojen teksturointiprosessilla ja sen haasteilla. Avaan myös hiukan, kuinka pelimme soveltaa jo tunnettuja käytäntöjä tekstuurien hyödyntämisessä 3D-mallien värjäämisessä.

Kerron, kuinka kustomisaation luomisprosessiin kuuluu robottien haarniskojen erilaisten maalikuvioiden luominen ja tallennus säilytysmaskiin. Maalikuvioihin liittyvät tekniset ongelmat ja niiden ratkaisut kuuluvat myös tähän osuuteen. Keskityn erityisesti 3D-taiteilijan näkökulmaan enkä esimerkiksi siihen, miten pelinkehityksen muut ammatit ja osa-alueet vaikuttavat kustomointiin.

Lopuksi pohdin, kuinka avaruuspelin kustomointiominaisuudet tekstuureilla ovat onnistuneet ja miten niitä käytetään pelissä. Mietin myös, mitä mahdollisuuksia voisi hyödyntää tulevaisuudessa käyttäen jo omaksuttuja teknisiä ratkaisuja ja olisiko koko prosessissa jotain parannettavaa.

2 Avaruuspelin haarniskakustomointi ja sen innoittajat

Trine-pelisarjastaan tunnetun Frozenbyte-peliyhtiön uusi aluevaltaus on eepinen ja kunnianhimoinen avaruusrakenteluroolipeli. Peli sisältää lukuisia mahdollisuuksia rakentamalla erilaisia asioita kuten avaruusaluksia ja -asemia. Sen erilaiset pelimekaniikat sisältävät kaikenlaista avaruustaisteluiden ja kaupanteon väliltä. Frozenbyten toiveena on, että räiskintää, rakentelua ja sosiaalisia ominaisuuksia yhdistelevä peli voisi olla pelialaa mullistava omassa genressään. Avaruuspelin urauurtava tuhoamismekaniikka ja lähes loputtomat rakentelumahdollisuudet antavat pelaajille työkalut löytää oma paikka pelin maailmankaikkeudessa. Tämä vaatii mahdollisuuden muuttaa oman hahmon ulkonäköä.

Avaruuspelin hahmoina toimivat robottihahmot. Pelaaja voi kustomoida eli räätälöidä niiden ulkonäköä monin eri tavoin. Robotilla on vakiotukiranka, jonka pääasialliset muokausmahdollisuudet liittyvät pelin haarniskajärjestelmään. Roboteille voi ostaa tai rakentaa erilaisia haarniskoja, ja ne koostuvat pienemmistä haarniskapaloista, kuten esimerkiksi pää-, ranne- tai vaikka lannehaarniskoista. Näillä paloilla voi olla omat värinsä, ja niitä voi kustomoida erilaisilla maalikuviolla. Kustomointiin kuuluvat vielä kaikenlaiset logot ja muut ikonit, joilla pelaaja viestittää paikkaansa avaruuspelin maailmankaikkeudessa. Keskityn tässä opinnäytetyössä erityisesti haarniskojen värjäykseen ja kuvioihin.



Kuvio 1. Frozenbyten uuden ja massiivisen avaruuspelin hahmot ovat haarniskoituja robotteja.

2.1 Avaruuspelin tyylin innoittajat ja historiallista haarniskakustomointia

Avaruuspelin tyyli on saanut vaikutteita historiasta ja reaali maailman mekaniikasta, kuten roboteista, mutta myös aikaisemmista scifi-peleistä. Isoina vaikuttajina ovat olleet erityisesti Homeworld- ja Warhammer 40 000 -pelisarjat (ks. kuvio 1). Genren tyylin mukaisesti kaikessa avaruuspelin taiteessa on huomioitu loogisuus ja toiminnallisuus. Pelin mekaaniset laitteet voisivat teoriassa toimia oikeastikin, koska ne on suunniteltu mahdollisimman loogisiksi. Toki mukana on aimo annos yleistä scifi-kuvastoa, eli avaruuspelellä ei pyri pelkästään realismiin.



Kuvio 2. Avaruuspelin vaikutteina toimivat esimerkiksi Homeworld-pelit. Kuva on Homeworld 2 remastered -pelistä. (homeworldremastered.com 2015.)

Taisteluhaarniskojen värjääminen maalikuvioilla ottaa vaikutteita aikaisemmin mainituista peleistä, mutta myös historiasta. Oman ulkoasun kustomointi on ollut osa ihmiskunnan historiaa ihan alusta lähtien vartalomaalauksista haarniskamaalauksiin, kuten esimerkiksi kuviossa 3 näkyy. Ihminen on aina halunnut ilmaista ulkoasullaan itseään tai näyttää vaarallisemmalta taistelussa. Maalauskuviointilla saatettiin haluta myös ilmaista kuulumista johonkin yhteisöön tai hierarkiaan. Kuviointiin tuli mukaan myös taktinen näkökulma, kun haluttiin naamioida haarniskaa tai hämätä vihollista.



Kuvio 3. Kaksi noin 1500-luvun historiallista sallet-kypärää, joissa näkyy heikosti maalikuviointia (The Wallace Collection, myarmoury.com).

Avaruuspelin maalauskuviointit kuuluvat pääasiassa itsensä yksilöintiin tai yhteisöihin kuulumiseen eivät niinkään naamiointiin. Pelaaja voi esimerkiksi kuulua suureen imperiumiin, jolloin hänellä on käytössä tähän yhteisöön kuuluva oranssi haarniskakuviointi. Pelaaja voi olla myös vaikka avaruusrosvo, jolloin hän on saattanut varastaa haarniskapaloja muilta ja käyttää erilaisia kuviollisia haarniskoja erilaisina yhdistelminä. Tällaista hahmokustomisaatiota on tehty monissa peleissä ennenkin ja avaruuspeli seuraa niiden viitoittamaa tietä.

2.2 Suosittujen pelien haarniskakustomoinnista

Monet pelit ovat jo kehittäneet erilaisia tapoja kustomoida hahmojaan. Hahmojen kasvojen ja vartalon muokkaamisella vaikutetaan hahmon yleiseen ulkonäköön ennen minikäänlaista vaatetusta tai haarniskoita. Erilaiset vaatteet ja haarniskat ja niiden muuttelu kuuluu sekä pelattavuuden että kustomisaation piiriin. Muitakin muokkausmahdollisuuksia on käytetty kautta pelihistorian, mutta seuraavaksi keskityn vain kolmeen peliin, joiden hahmokustomointia voi verrata avaruuspelin omaan toteutukseen.

Hyvä esimerkki vastaavanlaisesta hahmokustomisaatiosta on Halo-räiskintäpeleissä. Niiden Spartalais-supersotilaat käyttävät haarniskaa, jota voi muokata monin tavoin. Esimerkiksi viimeisimmissä Halo-peleissä pelaaja voi vaihtaa erilaisia haarniskakokonaisuuksia tai -paloja ja värjätä niitä eri kuvioin (ks. kuvio 4). Näillä vaihtoehdoilla on pääasiassa vain ulkoasullinen vaikutus, eivätkä ne vaikuta pelattavuuteen suuremmin, vaikkakin eri värit saattavat helpottaa tai vaikeuttaa hahmon näkyvyyttä. (halopedia 2018.)



Kuvio 4. Halo-peleissä Spartan-sotilaita voi muokata erilaisilla haarniskoilla ja värikuvioinneilla. Kuva on Halo 5: Guardians -pelistä. (halopedia.org)

Destiny-peleissä hahmon kustomisaatio on viety pidemmälle. Hahmot voivat olla eri ro-
tuja, ja niiden haarniskoja voi muuttaa monella tapaa. Pelin niin sanotut shaderit eli var-
jostimet voivat muokata haarniskoja muutenkin kuin vain väreillä, ja ne mahdollistavat
monenlaiset efektit, kuten erilaiset hehkuvat alueet tai vaikka liekehtivät haarniskat (ks.
kuvio 4). Näiden kustomisaatiomahdollisuuksien keräämis- ja ostamismekaniikka on
Destiny-pelien perusominaisuuksia. (destinypedia 2018.)



Kuvio 5. Destiny-peleissä hahmojen haarniskoja voi muokata erilaisilla varjostimilla ja niiden
efekteillä. Kuvassa on Destiny konseptitaidetta. (destinypedia 2018.)

Tuoreessa Anthem-pelissä hahmokustomisaatio on viety pisimmälle esimerkeistäni. Pelin Javelin-haarniskojen ominaisuuksia ja osia voi vaihdella erilaisiksi ja niillä voi olla kaikenlaisia värikuvioita. Isona edistysaskeleena toimii laaja materiaalijärjestelmä, jonka avulla haarniskoja voi muokata materiaalitasolla hyvinkin erilaisiksi muuttamalla vaikka metalliset osuudet kankaaksi. Kuviossa 6 näkyy kaksi erilaista versiota pelin haarniskoille. Materiaalien lisäksi muutokset väreissä ja kuvioissa mahdollistavat laajat kustomisaatiovaihtoehdot. (EA 2018)



Kuvio 6. Anthem-pelissä hahmojen haarniskoja voi muokata hyvin monenlaisiksi ja jopa materiaaleja voi muuttaa. Kuvassa esitettynä yhden Javelin haarniskan kustomisaatiovaihtoehtoja. (ea.com 2019.)

Frozenbyten avaruuspelin kustomisaatiomahdollisuudet muistuttavat eniten Halo-pelien toteutusta. Suunnitelmissa on laajentaa muokkausta laajemmaksi tulevaisuudessa, mutta alussa pitäydymme toimivaksi todetussa toteutuksessa. Tällainen haarniskojen kustomisaatio vaatii kuitenkin pohjaksi laadukkaat tekstuurit eli bittikarttakuvat, joita pelimoottori osaa hyödyntää luomaan illuusion pintakuviointista 3D-malleille. Niiden päälle sitten voidaan suunnitella värjättävät alueet ja maalikuviot. Seuraavaksi kerron työhöni kuuluneesta teksturointiprosessista ja siihen liittyvistä käytännöistä.

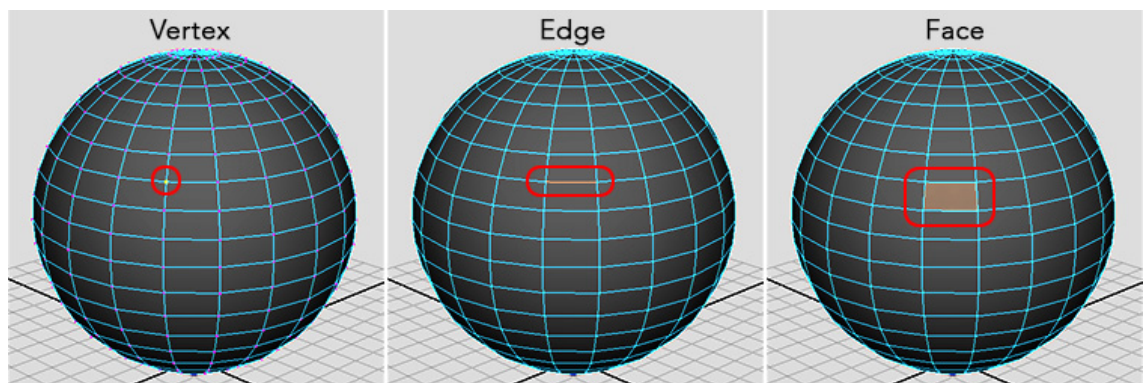
3 Robottihahmojen haarniskojen teksturointiprosessi

Tässä luvussa keskityn kertomaan haarniskakustomisaatioon liittyvästä teksturointiprosessista ja sen haasteista. Hyvät tekstuurit ovat haarniskakuviointien perusta, ja niihin tulisi käyttää aikaa parhaan mahdollisen lopputuloksen saavuttamiseksi. 3D-mallien teksturoinnin aloittamista ennen on tehty kuitenkin paljon työtä ja monta työvaihetta.

Vaikka 3D-mallinnus ei ole tämän opinnäytetyön keskiössä, niin kerron kuitenkin lyhyesti olennaisimmista termeistä ja käsitteistä. Keskityn vain polygonimallinnukseen liittyviin asioihin, vaikka muitakin 3D-mallinnustekniikoita on olemassa. Kerron seuraavaksi lyhyesti, mistä polygonimallinnuksessa on kyse ja mitä huomioitavaa tulisi pitää mielessä jo mallinnusvaiheessa valmistellessa 3D-esinettä teksturointia varten.

3.1 3D-mallinnuksesta lyhyesti

Polygonimallinnuksessa mallit koostuvat erikokoisista polygoneista eli monikulmioista, jotka taas koostuvat 3D-avaruuden pisteistä, joita kutsutaan vertekseiksi. Näiden väliin piirtyy särmä, ja terminä käytetään sanaa edge. Kolmen tai useamman pisteen ja särmän rajaamasta tahkosta käytetään sanaa face (ks. kuvio 7). Pienin useammasta pisteestä muodostuva pinta on kolmio. Se koostuu kolmesta verteksistä. (Hitchings 2013.)

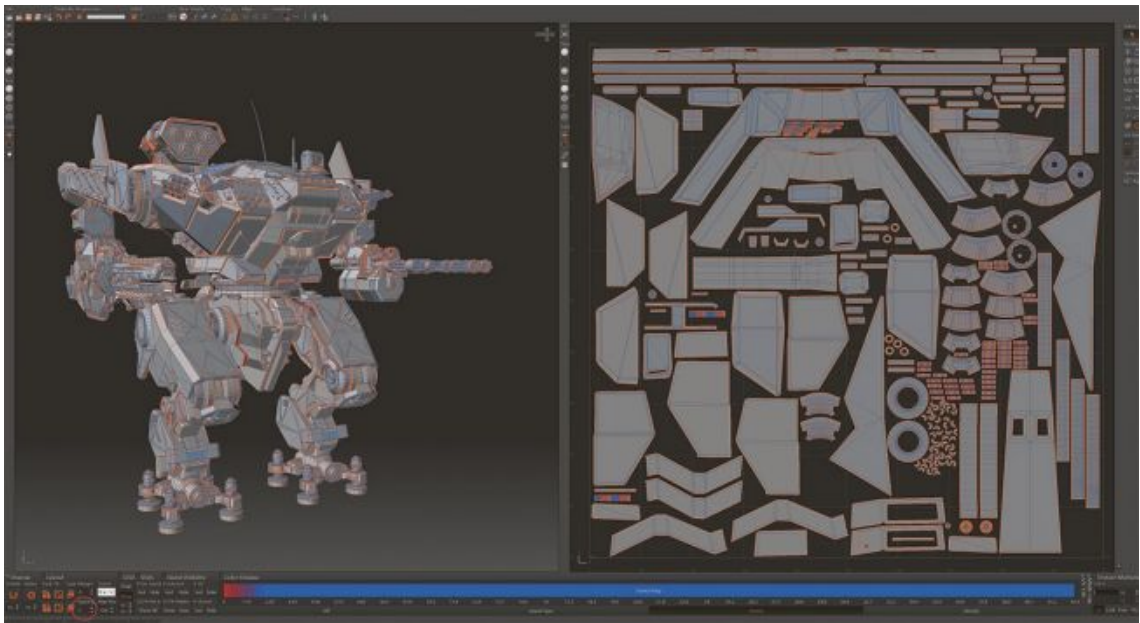


Kuvio 7. Verteksit, särmät ja tahkot muodostavat yhdessä 3D-mallin muodon (Hitchings 2013).

3D-mallien monikulmioista muodostuva verkko (mesh) luo pinnan mallille, ja se toimii eräänlaisena kuorena, jolle voi maalata kuvioita ja muuta visuaalista tietoa tekstuurikarttojen eli bittikarttakuvien muodossa. Tämä kuori pitää tilanteesta ja tekniikasta riippuen kuitenkin avata kaksiulotteiseksi pinnaksi prosessissa, jota kutsutaan UV-koordinaattien kartoittamiseksi. (Bech-Yagher 2018.)

3.2 UV-kartoittaminen ja verteksien määrä

UV-koordinaattien kartoittaminen on prosessi, jossa 3D-mallin pinta avataan kaksiulotteiseksi ja paloitellaan osiin, joita kutsutaan UV-saarekkeiksi (ks. kuvio 8). 3D-mallin avatulle pinnalle voidaan maalata erilaisia värejä, kuvioita ja muuta tietoa tekstuurien muodossa. Tällä tavalla saadaan 3D-malli viimeisteltyä erilaisilla materiaaleilla, joiden avulla tietokone osaa piirtää illuusion, miltä malli näyttää lopullisessa muodossaan. Hyvällä UV-kartoituksella tekstureihin saadaan paras mahdollinen laatu, kun UV-tilasta on hyödynnetty mahdollisimman suuri pinta-ala. (Bech-Yagher 2018.)



Kuvio 8. Taistelurobotin pinta UV-kartoitettuna saarekkeiksi kaksiulotteiselle pinnalle. Saarekkeiden väleihin on jätetty tilaa ja pinta-ala on käytetty suhteellisen hyvin. (Bech-Yagher 2018.)

Huono saarekkeiden asemointi voi aiheuttaa virheitä malliin. Joskus saarekkeet saattavat mennä osittain päällekkäin, ja tällöin tulee virheitä, kun yksityiskohdat, jotka on tarkoitettu aivan toiseen kohtaan, näkyvätkin jossain muualla kuin on suunniteltu. Eli tekstuurit "vuotavat" saarekkeesta toiseen. Joskus halutaan tarkoituksella asettaa saarekkeita päällekkäin, kun 3D-mallin symmetriset osat voivat hyödyntää samaa aluetta tekstuurikartasta. Näin säästetään aikaa teksturointiprosessissa ja tietokonetehoja 3D-mootorissa, kun tekstuurikartta voi olla pienempi kooltaan. Tekstuurivirheitä vältetään myös, kun saarekkeet pysyvät mahdollisimman vääristymättöminä ja niiden koot pysyvät samoina suhteessa toisiinsa. (Bech-Yagher 2018.)

3D-mallinnuksen ja UV-kartoituksen lomassa tulee ottaa huomioon 3D-mallin normaalit, särmien terävyydet ja kulmien jyrkkyydet. Normaaleilla tarkoitetaan monikulmioiden suuntaavia osoittimia. Ne määrittelevät, mihin suuntaan monikulmioiden pinnat osoittavat ja vaikuttavat 3D-mallin pinnan visuaaliseen kovuuteen tai pehmeuteen. Normaali-tekstuurikartalla voidaan säädellä tätä ilmiötä tarkemmin, ja tarkat UV-kartoitukset ehkäisevät virheitä normaalien piirrossa. (Bech-Yagher 2018.)

Kovapintaisissa esineissä on hyvä määritellä UV-saumot noin 90 asteen kulmisiin reunoihin. Näiden reunojen särmät on myös hyvä kovettaa. Koviin reunoihin ja UV-saumoihin muodostuu kaksinkertainen määrä verteksejä. Kun kummatkin tehdään, niin verteksen moninkertaistuminen pysyy hallinnassa, koska alkuperäistä verteksiä ei tarvitse kaksinkertaistaa kahteen kertaan. Järkevällä saarekkeiden saumoittamisella ja reunojen kovettamisella vältetään myös virheitä niin sanotussa tekstuurien leipomisvaiheessa. (EarthQuake 2012.)

3.3 Leipomisvaihe

UV-kartoituksen jälkeen ja ennen itse teksturointiprosessia suoritetaan leipomisvaihe. Alun perin on yleensä mallinnettu hyvin yksityiskohtainen 3D-malli, jossa on kaikki halutut muodot ja siluetin yksityiskohdat. Tämä malli on kuitenkin aivan liian raskas piirrettäväksi 3D-moottorissa, joten yksityiskohdat tulee siirtää kevyempään malliin normaalikartan avulla (ks. kuvio 9). Tätä prosessia kutsutaan leipomiseksi. (Wilson 2017.)



Kuvio 9. High poly -mallin monikulmioverkko on hyvin yksityiskohtainen. Yksinkertaistettuun low poly -versioon leivotaan normaalikartta, joka luo illuusion tarkoista yksityiskohdista. (Wilson 2017)

Leipomiseen tarvitaan niin sanotut high poly- ja low poly -mallit (ks. kuvio 9). Jälkimmäinen päätyy 3D-moottoriin normaalitekstuurikartan kanssa. Kartan kolme eri väriä luovat yhdessä 3D-moottorin varjostimen avulla illuusion kohoyksityiskohdista esineen pinnalla, vaikka niitä ei oikeasti ole. Tätä karttaa käytetään myös osana teksturointiprosessia muiden leivottujen väliaikaisten karttojen ohella. Näitä kutsutaan verkkokartoiksi tai termillä mesh maps. Nämä kartat ovat esitetty kuviossa 10.

Verkkokarttoihin kuuluu normaalikartan ohessa muitakin hyödyllisiä tekstuureja. Ambient occlusion -kartta on tärkeimpiä näistä. Karttaan on heijastettu yksityiskohtien ja muiden muotojen aiheuttamien syvennyksien varjostusta. Teksturoinnissa tätä karttaa hyödynnetään erityisesti kaikenlaisten tummennuksien ja koloihin kertyvien likojen luomiseen. Toinen hyvin tärkeä tekstuuri on kaarevuuskartta. Se sisältää esineen erilaisten kaarevien, ulkonevien ja sisenevien muotojen tiedon kontrastisena harmaasävyisenä kuvana. Ulospäin tulevat muodot ovat vaaleita ja sisäänpäin menevät tummia. Kartalla määritellään useimmiten kaikenlaista kulumaa esineen reunoissa. (Wilson 2017.)



Kuvio 10. 3D-mallista voidaan leipoa erilaisia tekstuurikarttoja. Kuvassa vasemmalta oikealle 3D-malli, normaali-, perusväri-, ambient occlusion-, id- ja kaarevuuskartta. (Wilson 2017)

Näiden ohella leivotaan muitakin yleisiä tekstuureja erilaisiin tarkoituksiin. Nämä kartat saattavat sisältää tietoa esimerkiksi 3D-mallin sijainnista avaruudessa (position), paksuudesta (thickness) tai vaikka mallin pinnan eri alueista eri värisinä alueina (id). Monia muitakin tekstuurikarttoja voidaan leipoa ja hyödyntää teksturointiprosessissa. Verkkokarttojen leipomisen jälkeen voidaan siirtyä itse teksturointivaiheeseen.

3.4 Teksturointi Substance painter -ohjelmassa

Mallinnuksen, UV-kartoituksen ja leipomisen jälkeen voidaan siirtyä itse teksturointivaiheeseen. Avaruuspelin robottihahmojen haarniskat tarvitsevat omat tekstuurikartat, joita tässä opinäytetyössä kutsun perustekstuureiksi. Näissä on määritelty 3D-mallin kaikki metalliset, kiiltävät, mattaiset ja maalatut alueet. Tekstuurit luodaan käyttäen Allegorithmicin Substance painter -teksturointiohjelman työkaluja, koska se oli valittu tekstuurien työstöön Frozenbytellla ja on tarkoitettu erityisesti tekstuurien maalaamiseen.

Substance painter -ohjelmassa on ominaisuutena kyky maalata tekstuureja suoraan 3D-malliin lopullisen oloisessa valaistuksessa nähden tekstuurikanavien muodostama kokonaisuus jo teksturoinnin aikana. Tämän mahdollistaa PBR- eli physically based rendering -piirtotekniikka (ks. kuvio 11). Ennen jouduttiin tyytymään kömpelöön tapaan maalata eri tekstuurikarttoja piirto-ohjelmassa ja lopullinen ilme nähtiin vasta 3D-moottorissa.



Kuvio 11. PBR-materiaalit toimivat luotettavasti eri valaistutilanteissa (Wilson 2015.)

PBR-tekniikka toimii ennalta määriteltyjen matemaattisten arvojen mukaisesti, jolloin taiteilija määrittelee vain muutamaa arvoa ja varjostin osaa laskea näiden määreiden mukaisesti, miltä 3D-mallin materiaalit näyttävät. Määriteltäviin arvoihin voi lukeutua perusvärin ohella kiiltävyys, jolla voidaan yhdellä mustavalkoarvolla määrittellä, miltä heijastukset näyttävät. Metallisuusarvolla voidaan määrittellä pinnan metallisuutta eli sitä, kuinka paljon pinta imee tai heijastaa valoa. Muita arvoja voivat olla myös pinnan korkeus- ja normaaliarvot. (Russel 2015.)

Substance painterissa ja teksturoinnissa yleisesti työskennellään materiaalien kanssa. Materiaalit koostuvat erilaisista tekstuurikanavista, jotka yhdessä muodostavat ulkoasun 3D-malleille. Näihin voi kuulua esimerkiksi perusväri-, metallisuus-, rosoisuus- tai korkeuskanava. Näiden peruskanavien oheen voidaan laittaa muitakin kanavia, kuten esimerkiksi emissio- tai vaikka läpinäkyvyyskanavat, tilanteen mukaan.

Teksturoidu Substance painterissa tapahtuu piirtokerroksien avulla. Näihin maalataan tai luodaan matemaattisesti erilaista tietoa ja kuvioita käyttäen jo määriteltyjä tekstuurikanavia. Esimerkiksi kulunut metalli saattaa koostua lukuisista kerroksista erilaisia lika-, kuluma- tai naarmukuvioita, jotka laitetaan metallin perusvärin, metallisuuskanavan ja muiden perusmääreiden päälle. Nämä yhdessä luovat yhteisvaikutelman halutusta materiaalista.



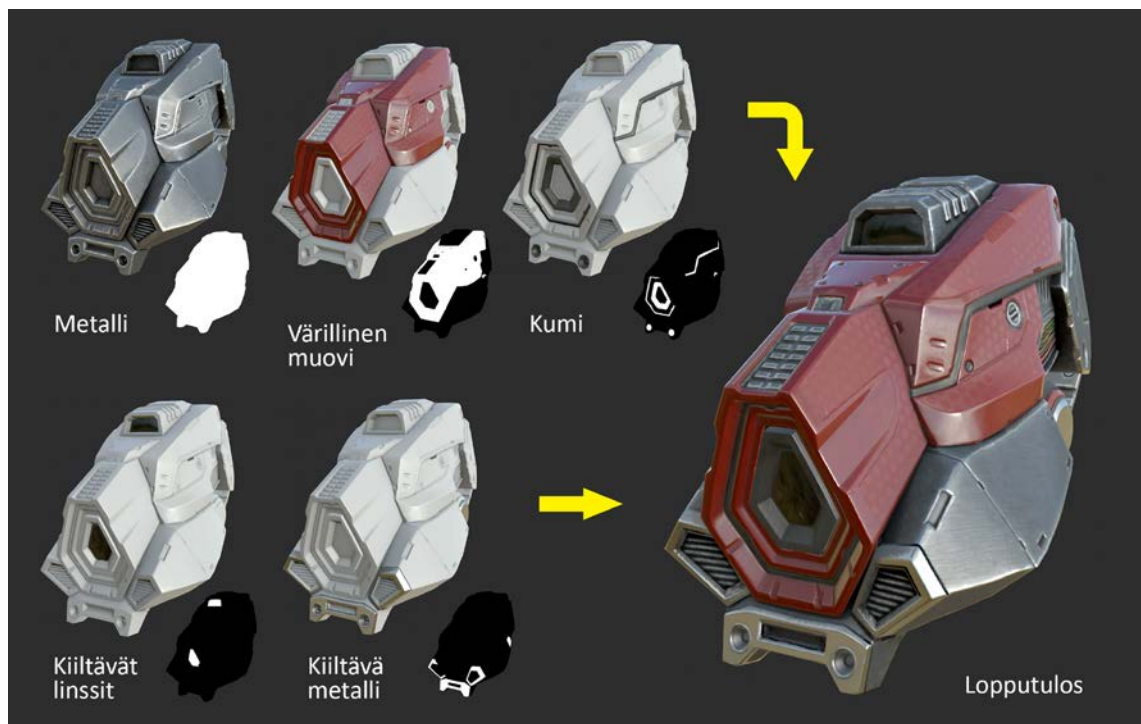
Kuvio 12. Mustavalkoisilla maskeilla piilotetaan ja paljastetaan pinnan alueita. Generaattorit ovat myös maskeja, mutta ne luovat matemaattisesti erilaisia efektejä. Kuvassa liioiteltuna Metal Edge Wear -generaattori luo vaalean reunan haarniskan kulmiin ja Dirt-generaattorista tulee tummaa likaa uriin ja vakoihin.

Maalauskerroksia määritellään käyttäen kerrosnaamioita (maskeja). Ne paljastavat ja piilottavat osia kerroksista 3D-mallin pinnalla, ja näin voidaan hallita, mikä materiaali näkyy missäkin. Maskeja voi maalata käsin, mutta niille voi myös laittaa erilaisia generaattoreita. Ne muodostavat kaikenlaisia efektejä kuten likaa tai kulumia käyttäen leivottuja kartoja. (Allegorithmic.)

Maskien käyttö mahdollistaa tehokkaan ja tuhoutumattoman työskentelyn, kun kerroksista ei poisteta mitään, ainoastaan piilotetaan. Kerroksien ja maskien monipuolisella käsittelyllä avaruuspelein robottihahmojen haarniskoille tehdään perustekstuurit.

3.5 Perustekstuurit harmaasävyisinä

Seuraavaksi kerron normaaleista työvaiheista perustekstuurien työstössä. Perustekstuureilla tarkoitan erilaisia materiaaleja haarniskojen pinnoilla, joiden päälle myöhemmin laitetaan maalauskuvioita. Prosessin alussa määritellään ensin pinnan materiaalialueet, joita saattaa olla useita erilaisia yhdessä haarniskassa. Näihin lukeutuvat yleensä metalliset, kumiset, maalattavat ja myös erittäin kiiltävät alueet. Materiaaleille määritellään omat alueet maskien avulla eikä tässä vaiheessa keskitytä paljoakaan yksityiskohtiin. Alussa on parempi työskennellä korkeammalla tasolla, jotta haarniskasta tulee mahdollisimman selkeä kaukaakin katsottuna.



Kuvio 13. Haarniskojen pintamateriaalien alueet määritellään maskeilla.

Isojen alueiden määrittelyn ohessa on hyvä hioa ja kehittää materiaaleja paremmiksi. Työskennellessä useiden samantyylisten esineiden kanssa, teksturoijalle on ehtinyt muodostua oma materiaalikirjasto. Näitä jo ennestään luotuja materiaaleja on hyvä käyttää nopeuttamaan työskentelyä. Materiaalien luomisessa ja hiomisessa hyödynnetään Substance Painterin generaattoreita ja muita työkaluja luomaan erilaisia kulumia, naarmuja ja likaa materiaaleihin tekemään niistä uskottavampia. Alueiden määrittelyn ja materiaalien hiomisen tulos on jo hyvinkin lopullisen näköinen haarniska. Tässä vaiheessa tekstuureista viedään ensimmäiset versiot peliin testattavaksi ja mahdollisia korjauksia on vielä nopeaa tehdä ennen varsinaista tekstuurien hiomisvaihetta.

Tekstuurien hiomisessa keskitytään yksityiskohtiin. Haarniska saattaa kaivata joitain high poly -versiosta puuttuneita lisäyksiskohtia. Voi olla, että kontrastia tarvitaan johonkin kohtaan enemmän tai jotain kohtaa pitäisi yksinkertaistaa. Materiaalien reunat ja yhtymäkohdat muokataan tarkemmiksi maalaten tai hyödyntäen Substance painterin matemaattisia työkaluja. Olen huomannut, että yhä enemmän käytän tässä vaiheessa ihan vaan tavallisia digitaalisia siveltimiä ja maalaan käsin virheitä piiloon tai lisään yksityiskohtia. Matemaattiset työkalut ovat apuna, mutta eivät pysty korvamaan perinteistä manuaalista maalaamista.



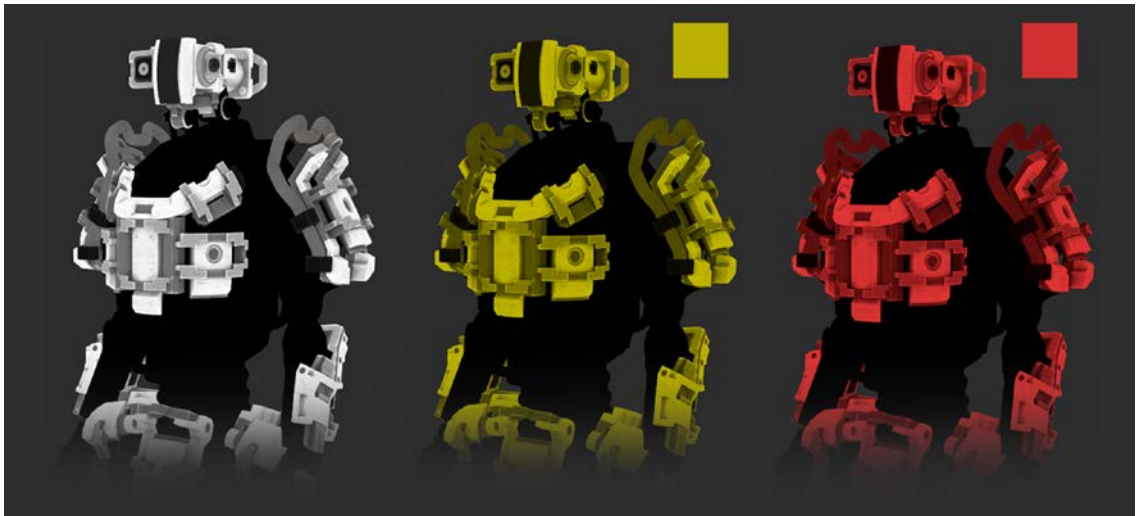
Kuvio 14. Teksturoinnin neljä vaihetta. 1. 3D-malli ilman materiaaleja. 2. Määritellään materiaalien alueet. 3. Materiaaleihin lisätään yksityiskohtia kuten pintakulumaa. 4. Lisätään viimeistelevä kerros likaa ja koristeelliset pintakuviot.

Lopuksi vielä maalaataan mahdolliset materiaalien pintakoristelut. Koska avaruuspelein haarniskat ovat tyyliiltään realistisia, niin koristeluilla tarkoitan kaikenlaisia teknisiä kuviota tai eri kiiltävyydellisiä kohoumia ja syvennyksiä. Voi olla, että esineen pinnalle halutaan kulumaa tarkasti harkittuun kohtaan tai vaikka kumin pinnalle jokin mielenkiintoinen

pintakuviointi. Näillä yksityiskohdilla viimeistellään haarniskan ulkoasu ja työn jälkeen voidaan todeta perustekstuurien olevan valmiit. Toki korjailua ja muutoksia tehdään tämän työvaiheen jälkeenkin ihan pelin julkaisuun asti ja joskus sen jälkeenkin.

Avaruuspelin perustekstuurien erikoisuutena on, että sävyt ovat harmaasävyisiä. Tarkoituksena on pystyä muuttamaan haarniskojen väritystä helposti suoraan pelimoottorissa, luodaksemme lukuisia väri vaihtoehtoja erilaisille haarniskakokoonpanoille. Perinteisellä tavalla tehtäisiin omat eri väriset tekstuurit kullekin haarniskalle. Tämä veisi kuitenkin tolkuttomasti aikaa ja ennen kaikkea runsas määrä tekstuureja söisi ison osan pelin käyttämästä muistista.

Ratkaisuna hyödynnämme pelimoottorin varjostimessa käytettävää sävyjen multiply-kerrointa, jolla saamme värjättyä haarniskat halutun värisiksi kuitenkin säilyttäen perustekstuurien yksityiskohdat. Jos tekstuurit olisivat alun perin värillisiä, niin sävyt muuttuisivat hallitsemattomasti, kun tekstuurien pikselit, eli bittikarttakuvan pienimmät neliönmuotoiset osat, kerrotaan uudella sävyllä. Harmaasävyiseksi jätetyn pikselin kertominen esimerkiksi vihreällä tuottaa halutun lopputuloksen eli vihreän pikselin.



Kuvio 15. Haarniskojen perustekstuurien perusvärinäkömässä huomataan kuinka harmaasävyiset tekstuurit värjääntyvät multiply-kertoimen avulla. Lopputuloksena tummat alueet pysyvät tumman sävyisinä ja vaaleat alueet saavat uuden kirkkaan värin.

Ongelmaksi muodostuu kuitenkin värjäyksen kokonaisvaltaisuus. Kertomalla koko perustekstuuri uudella sävyllä koko haarniska värjääntyy aivan kauttaaltaan. Vaaleat alueet muuttuvat selkeimmin uuden värisiksi ja tummat alueet värjääntyvät myös jonkin verran sävyllään. Tämä ei ole haluttu lopputulos vaan tarkoituksena on pystyä määrittelemään

tarkasti alueet, joille tulee väriä ja alueet, joita ei värjätä ollenkaan. Tämän ongelman ratkaisemiseksi hyödynnetään maskeja.

3.6 Värjättävät alueet valkoisiksi ja sävytysmaskin tarkoitus

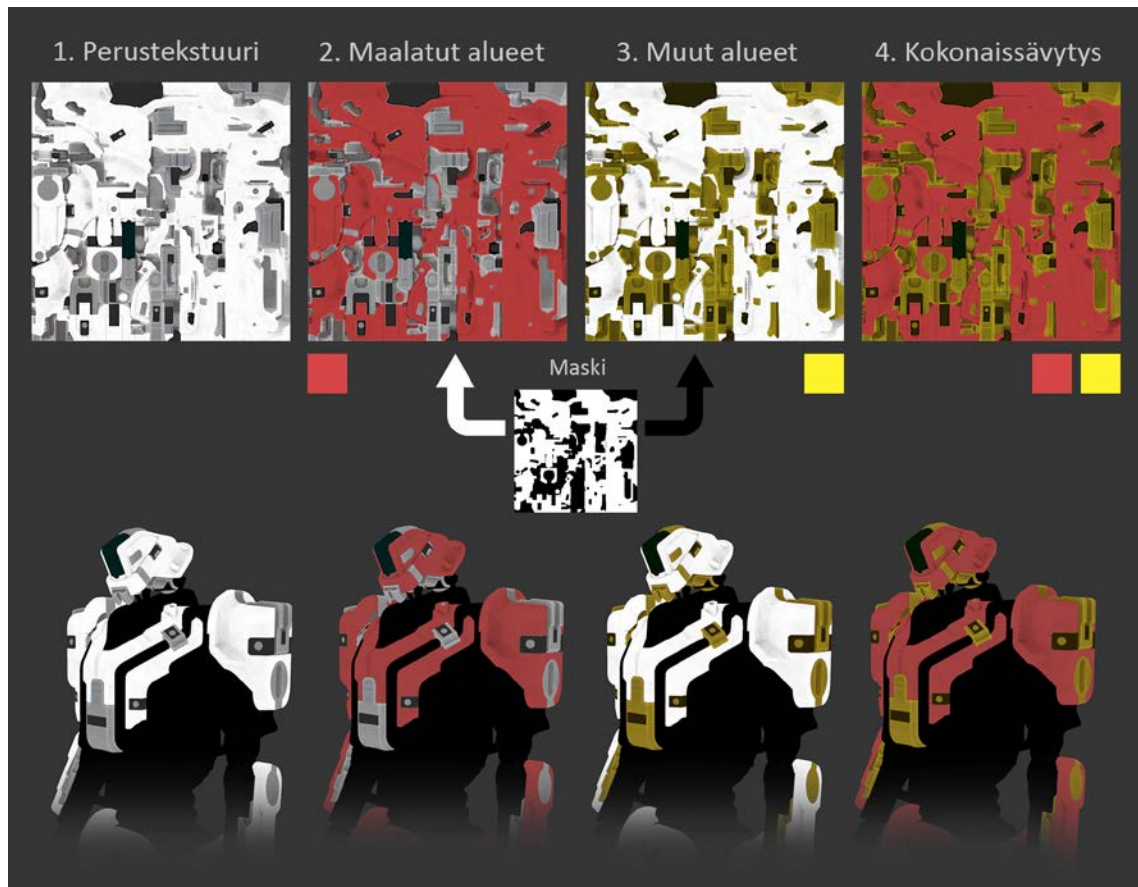
Haarniskat koostuvat pääasiassa maalaamattomista ja maalatuista alueista. Jälkimmäiset ovat alueita, joille määritellään uusi sävytys käyttäen multiply-kerrointa. Tällöin perustekstuurien Albedo eli perusväri kerrotaan uudella värillä. Jotta vain halutut alueet saadaan värjättyä, tarvitaan erillinen maskikartta, jolla määritellään värjättävät alueet värjäämättömistä. Tätä karttaa kutsutaan avaruuspelin termistössä sävytysmaskiksi (tintmask). Tässä maskissa väriä läpi päästävät alueet ovat täysin valkoisia ja muut mustia. Valkoiset alueet päästävät läpi uuden värin, joka kerrotaan alkuperäisen harmaasävyisen perustektuurin kanssa. Mitä valkoisempi alkuperäinen väri on sitä kirkaammin uusi väri sävyttää. Tästä syystä haarniskojen värjättävien alueiden kannattaa olla lähes kokonaan valkoisia.



Kuvio 16. Täysvalkoinen, harmaa ja musta kerrotaan uusilla väreillä. Lopputulos vaihtelee alkuperäisten tumman sävyjen mukaisesti. Valkoinen värjäytyy täysin ja musta pysyy mustana. Haarniskojen harmaasävyt värjäntyvät vaihtelevasti. Sävytysmaskin rajaama alue värjää vain halutun alueen.

Perusteksturin ja uuden värin lopputulokseen vaikuttaa alkuperäisen värin tummuus. Multiply-kertoimella musta väri tummentaa (arvo on 0) ja valkoinen päästää uuden värin läpi (arvo on 1). Mustalla kertomalla uuden värin tulokseksi saadaan musta. Jos valkoisella kerrotaan sama väri, tulokseksi tulee tämä kyseinen väri. Harmaan eri sävyt sitten tummentavat eri tasoisesti uutta väriä. Tästä syystä perustekstuurit ovat harmaasävyisiä

ja värjättävät alueet lähes valkoisia. Ja lopuksi Sävytysmaski määrittää värjättävät alueet valkoisilla alueillaan.



Kuvio 17. Harmaasävyinen perustekstuuri ja sen sävytysmaski, jonka valkoisilla alueilla sävytetään vaaleat maalattavat alueet. Mustille alueille voi säätää oman sävyn. Yhdistelmänä sävytetyt alueet muodostavat jo hyvän värillisen haarniskakokonaisuuden.

Mustien alueiden rajaamat kohdat halutaan myös värjätä, mutta eri sävyllä. Esimerkiksi haarniskan metalliset pinnat voitaisiin sävyttää kultaisiksi. Tämä onnistuu avaruuspelin pelimoottorin varjostimessa yleissävytyksellä, jolla kaikki sävytysmaskin rajaamien alueiden ulkopuolelle jääneet alueet voidaan sävyttää oman värisiksi. Näin on muodostunut kätevä tapa hallita haarniskan värejä pelimoottorissa suoraan hyödyntäen sävytysmaskin rajausmahdollisuuksia ja perustekstuurien harmaasävyjen sävytystä. Tämä tekniikka on joustava ja tehokas tapa luoda lukuisia eri väri vaihtoehtoja avaruuspelin haarniskoille.

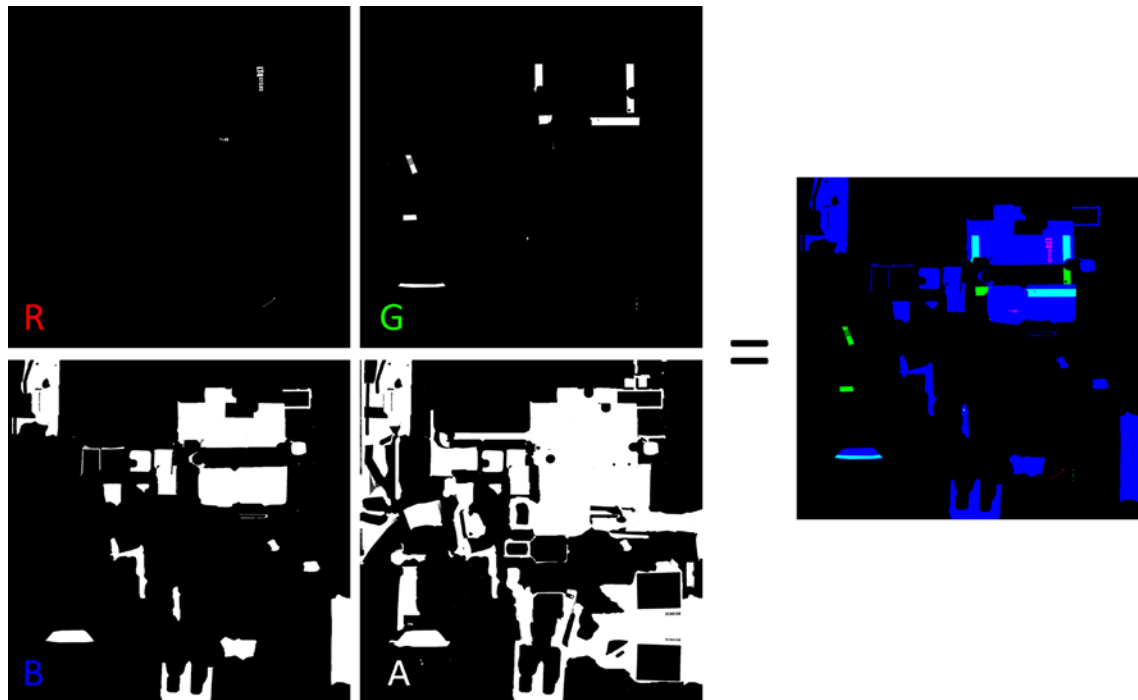
4 Haarniskojen maalikuviot ja niiden haasteet

Avaruuspelin robottihahmojen haarniskojen pinnalle maalataan maalikuvioita. Ne toimivat lisävärjäys- ja koristelumahdollisuuksina tuomaan luonnetta ja variaatiota. Lopputarkoituksena on luoda lukuisia erilaisia haarniskoja nopeasti ja mahdollisimman vähällä vaivalla. Maalikuviolla saadaan suhteellisen helposti aikaiseksi paljon erilaisia haarniskoja vain värejä ja kuvioita vaihtelemalla. Näin säästytään suurelta määrältä lisätyötä, kun ei tarvitse tehdä uusia 3D-malleja tai erilaisia tekstuureja kattamaan kaikki halutut erilaiset haarniskat. Maalikuviot tallennetaan sävytysmaskiin omina maskeinaan. Seuraavaksi kerron tarkemmin näiden tekoprosessista ja ongelmista, joita tuli vastaan.

4.1 Sävytysmaskin sisällöstä tarkemmin

Sävytysmaski on siis tekstuurikartta, jonka tarkoituksena on rajata haarniskojen pinnalla alueita, joita puolestaan värjätään uusilla sävyillä. Tekstuureissa eli bittikarttakuvissa on yleensä käytössä useampi omaa väriään läpi päästävä värikanava, joiden yhdistelmä muodostaa näkyvän kuvan (Sudhakaran 2013). Sävytysmaskiin on tallennettu tietoa neljälle eri värikanavalle. Punainen (R), vihreä (G) ja sininen (B) ovat perusvärikanavia ja ne on varattu maalikuvioiden maskeille. Alpha, eli läpinäkyvyyskanava, rajaa omana maskinaan yleisesti värjättävät alueet haarniskojen pinnoilla. Maskit on hyvä laittaa omille värikanavilleen niiden ollessa mustavalkoisia, koska näin säästetään muistia, kun yksi tekstuurikartta sisältää neljän mustavalkotekstuurin tiedon (Polycount wiki 2018).

Substance Painterissa olen määritellyt niin sanotut käyttäjäkanavat (user channel) kullekin maalatulle alueelle ja kuvioille. Käyttäjäkanavat voivat sisältää mitä tahansa haluttua arvoa ja niitä usein käytetään eilaisten maskien tekoon. Teksturoinnin ohessa maskatut alueet voidaan ohjata näiden kanavien avulla automaattisesti oikeille värikanavilleen lopulliseen sävytysmaskiin sen teko- eli exportointi-vaiheessa. Lopuksi sävytysmaski tuodaan pelimootoriin ja varjostin tunnistaa sen uudeksi kartaksi alkuperäisten perustekstuurienv rinnalla.



Kuvio 18. Tekstuurikartan värikanavat muodostavat yhdessä lopullisen kuvan. Sävytysmaskiin on tallennettu R-, G-, B- ja Alpha-kanaville värjättävät maalikuvioiden maskit.

4.2 Kolme erilaista kuviokokonaisuutta ja niiden yhdistelmät

Sävytysmaskin värikanavat sisältävät kolme erilaista kuviokokonaisuutta, ja alpha-kanavalle on tallennettu erikseen maski, jolla värjätään yleisesti kaikki avaruuspelin haarniskojen maalatut alueet. Kutsun tätä alphan perusmaskia Base-nimellä sen yleisen kattavuuden takia. Tämän perusvärjäyksen päälle voidaan sitten laittaa muilla värikanavilla olevia maalikuvioiden maskeja. Sävytysmaskin kolme värikanavaa on järkevää täyttää kolmella erilaisella kuviokokonaisuudella, koska vähempi jättäisi turhaa tilaa käyttämättä ja suurempi määrä kuvioita vaatisi uuden tekstuurikartan. Kuviomaskeille määritellään omat nimensä ja tyylinsä, mitkä toistuvat kaikissa haarniskoissa tavalla tai toisella. Nämä ovat Deco-, Simple- ja Areas-kuviomaskit.

Deco on kuviokokonaisuus, jonka tarkoitus on olla koristeellinen. Tällä termillä tarkoitetaan kaikenlaisia koristeellisia muotoja kuten esimerkiksi koukeroita ja viivoja tai se voi tarkoittaa myös hyvinkin yksinkertaisia pienehköjä geometrisiä muotoja. Kuvioiden tarkoituksena on kuitenkin, että Deco toimii kaikkien kuvioiden yksityiskohtana, sillä yksilöllistetään haarniskoja parhaiten ja se vie vähiten pinta-alaa haarniskan pinnalla. Näille kuvioille määritellään yleensä myös muita sävyjä kirkaampi huomioväri.

Simple-kuviot ovat nimensä mukaisesti yksinkertaisia kokonaisuuksia. Ne voivat olla vaikka koko haarniskan pituisia raitoja tai vaikka vaan joitakin selkeitä rajattuja alueita haarniskan pinnalla. Simple voi koostua myös hyvinkin yksinkertaisista isoista geometrisista muodoista. Tällä kuviokokonaisuudella halutaan värjätä isompia alueita yleisemmin kuin Deco, mutta kuitenkin pitäen haarniskaversioiden yksilöllistä mieltä Decon tavoin. Simple värjätään usein myös huomiovärillä, mutta ei aina.

Kuvioita ja sävyjä käytettäessä on hyvä pystyä jakamaan haarniskojen maalattujen pintojen alueita eri värisiksi ja tähän tarkoitukseen kolmantena kuviokokonaisuutena on Areas-kuviointi. Tällä haarniskan pinta-ala jaetaan useampaan alueeseen ja yleensä käytetään muiden kuvioiden taustana tai vain yleisemmin rajaamaan isoja kokonaisia eri värisiä alueita. Monesti pelkkä alueen rajaaminen riittää haarniskan yksilöimisessä. Sävytys Areas-kuvioinnille on yleensä vähiten räikeä sen suuren pinta-alan takia.

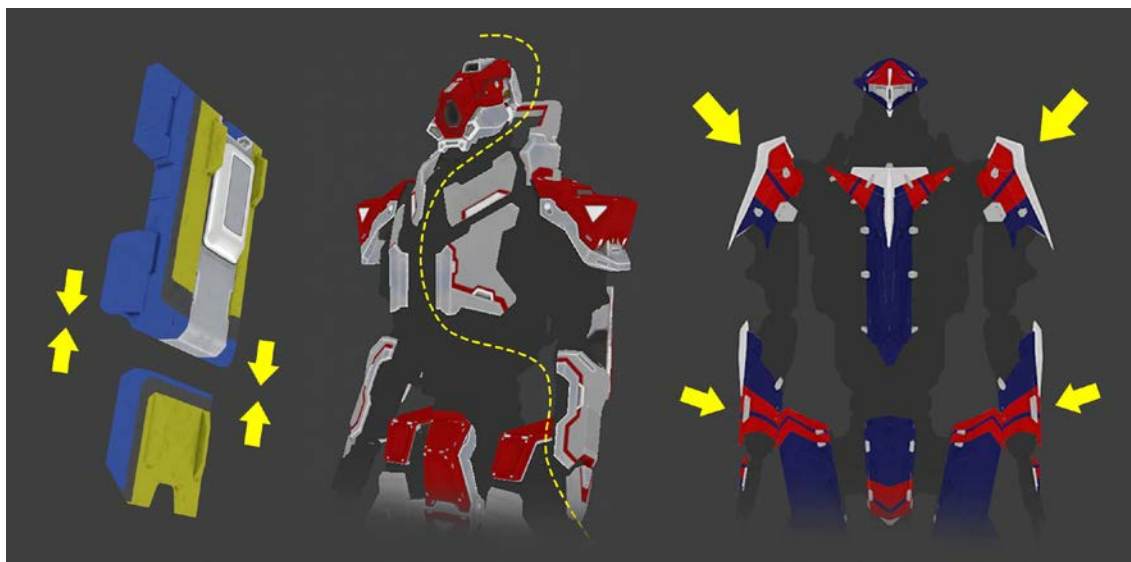


Kuvio 19. Deco-, Simple- ja Areas -kuviokokonaisuudet. Niiden yhdistelmästä muodostuu aivan erilainen kuviokokonaisuus.

Kuvioiden suunnitteluun kuuluu myös niiden yhdisteltävyyden huomioiminen. Hyvin tehdyt kolme erilaista kuviokokonaisuutta yhdistettynä eri värivaihtoehtoihin voivat yhdessä muodostaa suuren määrän erilaisia versioita haarniskoista. Vain yksi sävytyskartta lisätekstuurina riittää tuomaan muokausmahdollisuuksia roimasti eikä uutta mallinnusta tai

teksturointia tarvitse tehdä. Tarkka yhdisteltävyyden suunnittelu on kuitenkin työläs prosessi, koska kuviot saattavat toimia hyvin yhdessä joidenkin kokonaisuuksina, mutta toisina eivät. Valitettavasti aina kuvioita ei saa toimimaan yhdessä täydellisesti, mutta parhaaseen yhdisteltävyyteen on hyvä pyrkiä alusta lähtien.

Kuvioiden muotojen kontrasti ja sijoittelu ovat myös tärkeitä pitää mielessä. Varsinkin Deco-kuvioinnin koristelut on hyvä sijoitella haarniskan pinnalle kontrastisesti. Esimerkiksi jalan kuviot voisi olla järkevää sijoittaa nivelien lähetyville, jolloin huomio kohdistetaan kiinnostavimpaan kohtaan ja sen seurauksena tyhjää tilaa jää jalan pitkille osuiksille. Toinen vaihtoehto voisi olla vastakkainen ratkaisu, jolloin vain tasaisilla pitkillä alueilla on kuvioita eikä muualla. Kunhan kuvioita ei ole kaikkialla, koska haarniskan yleisilmeestä tulee helposti sekava. Jos keskitetään kuvioita kontrastisesti erityisiin huomio-kohtiin, saadaan hahmolle aikaiseksi dynaaminen ja mielenkiintoinen ilme.



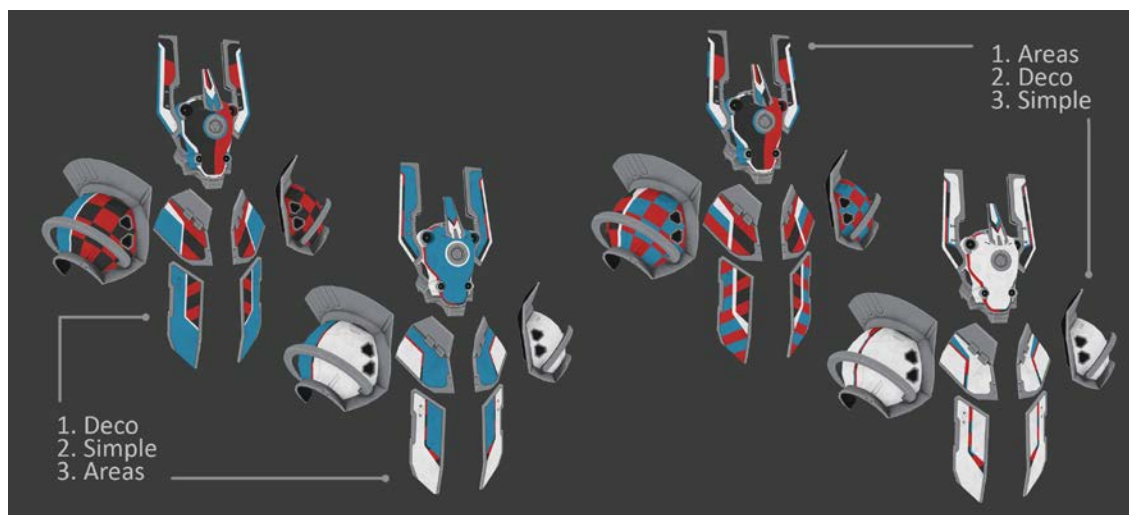
Kuvio 20. Maalikuvioiden sijoittelu kontrastisesti luo dynaamisen ilmeen haarniskoille. Kuvio voi luoda jännitettä, muodostaa linjoja tai jakaa haarniskojen pinta-ala.

Maalikuvioiden yhdistely ja erilaisten sävytysten hyödyntäminen antaa laajat keinot luoda erilaisia versioita avaruuspeleiden haarniskoista. Erilaisia värjäysmahdollisuuksia hyödyntämällä, haarniskapaloja yhdistelemällä ja sävytysmaskin ulkopuolella olevia metallisia alueita sävyttämällä, päästäänkin jo suureen määrään erilaisia yhdistelmiä. Joku haarniskakokonaisuus voi olla kultainen ja täynnä kuvoita, kun taas joku voi olla hyvinkin yksinkertainen. Vain mielikuvitus on rajana. Maalikuvioiden suunnittelu vaatii kuitenkin paljon aikaa ja vaivaa. Kestoltaan tähän voi mennä yhtä kauan kuin perustekstuuriin tekoon ja tässä prosessissa on vielä parantamisen varaa.

4.3 Kuviot ja sävytysmaski pelimoottorissa

Avaruuspelellin pelimoottorissa haarniskojen ulkonäköä voi säätää monin eri tavoin teksturoinnin ja maalikuvioiden luonnin jälkeen varjostimen avulla. Se on pieni ohjelma, joka sisältää tietokoneen näytönohjaimen tarvitseman tiedon piirtääkseen 3D-mallin halutulla tavalla näytölle. Avaruuspelellin varjostimet tunnistavat automaattisesti uudet tekstuurikartat, jotka on tuotu 3D-mallin mukana pelimoottoriin. Ne osaavat myös automaattisesti liittää ihan uudet tekstuurit, kuten sävytysmaskit, oikeille paikoilleen.

Hyödynnettäessä sävytysmaskin kaikkia sävytysmahdollisuuksia tulee maski laittaa päälle, jotta sen alpha-kanavalle tallennettu Base-maski aktivoituu. Tämän jälkeen on mahdollista määrittää mikä tahansa uusi sävy rajatulle alueelle. Värjäys tapahtuu vain perustekstuuriin perusvärille eivätkä muut kartat (karkeus, metallisuus ja normaalit) värjäänny. Varjostimessa voi yksitellen aktivoida RGB-värikanaville tallennettuja kuviokokonaisuuksia tai laittaa ne kaikki päällekin yhtä aikaa. Kuvioiden järjestys on normaalisti: Deco, Simple ja Areas. Järjestys kuvaa kuviomaskien päällekkäisyyttä. Niiden järjestystä voi kuitenkin vaihtaa haluamukseen, koska varjostin osaa vaihtaa halutun maskin tiedon päällimmäiseksi. Base on aina alimpana ja jos laittaa esimerkiksi Deco-maskin päälle niin sen rajaamalla alueilla vallitsee Deco-sävytys ja muilla Base-väritys. Jos muita kuvio-maskeja laittaa vielä päälle niin lopputulos on, että muut maskit rajaavat omilla väreillään alueita lisää.



Kuvio 21. Kuvassa haarniskoilla on kaikki kuviot aktivoitu, kahdessa eri järjestyksessä ja samoilla väreillä. Alla maskien mustavalkoarvot käännettynä toisinpäin. Järjestys ja maskien kääntäminen mahdollistavat aivan erinäköiset haarniskakokonaisuudet.

Maskeja voi myös kääntää toisinpäin. Varjostin osaa muuttaa maskin valkoiset alueet mustiksi ja toisinpäin yhtä nappia painamalla. Kuviot on siis hyvä suunnitella toimimaan myös negatiivisina. Nämä kaikki luetellut säätömahdollisuudet yhdessä luovat erinomaiset puitteet kaikenlaisille erinäköisille haarniskoille, helposti ja nopeasti suoraan pelimoottorissa. Näin ei kuitenkaan ollut alun perin, sillä kolme erilaista ongelmatilannetta aiheuttivat päänvaivaa prosessin alussa.

4.4 Aluksi UV-saumat loistivat valkoisina

Sävytysmaskin RGB-värikanaville tallennetut maskit ovat siis mustavalkoisia kuvia. Substance Painterissa materiaalien alueet määritellään maskeilla eli teksturointiprosessin ohessa muodostuu hyvä määrä mustavalkoisia kuvia. Ne on helppo kopioida ohjelmasta toiseen. Alun perin toin nämä Adobe Photoshop -kuvankäsittelyohjelmaan ja siellä laitoin halutut maskit oikeille värikanaville manuaalisesti. Suoraan Substance painterista tuodut maskit ovat tarkkoja ja näyttävät toimivilta silmämääräisesti. Valitettavasti käytännössä tämä tarkkuus tuo mukanaan ongelman. Sävytyksen aktivoiminen pelimoottorissa aiheuttaa valkoisten viivojen muodostumisen haarniskojen pinnoille.

Valkoiset viivat muodostuvat UV-saarekkeiden saumojen kohdille. Aloin purkaa maskien tekoprosessia selvittääkseni mistä tämä johtuu. Ongelmana oli perustavanlaatuinen virhe prosessissa. Maskien alueet eivät vuotaneet UV-saarekkeiden saumojen yli. Tekstuureja tehdessä on hyvä muistaa, että saarekkeiden ulkopuolelle tulisi vuotaa riittävästi materiaalien pikseleitä. Jos tätä vuotamista ei tapahdu, niin saarekkeiden rajat tulevat näkyviin 3D-mallin pinnalla ikävällä tavalla. Tässä tapauksessa valkoinen väri oli maskatun alueen alla olevaa vaaleaa värjättäväksi tarkoitettua pintaa.

Onneksi ratkaisu löytyi Substance painterista suoraan. Ohjelma osaa tekstuurien exportoinnin aikana vuotaa, värikanavien sisältämän tiedon mukaisesti, haluttu määrä pikseleitä saarekkeiden ulkopuolelle. Maskatut alueet ohjataan omille kanavilleen ja näin niiden rajat saadaan vuotamaan. Maskeja ei kuitenkaan voi noin vain määritellä omille kanaville, kun on käytössä vain perusväri, karkeus, metallisuus, korkeus ja normaalikanavat. Niiden ja niitä hyödyntävien materiaalikerroksien maskit tuovat kanaville eri tavoin vääräänlaista tietoa, kuten kulumaa tai ne saattavat sisältää puutteellisesti määriteltyjä alueita. Ongelman ratkaisu liittyikin materiaalikanavien tutkimiseen ja lisäämiseen.

Substance painterissa voi maalata muitakin kuin vain peruskanavia. Ohjelmassa voi lisätä suuren määrän eri asioihin tarkoitettuja lisäkanavia. Esimerkiksi hohtavia kohtia voi

maalata Emissive-kanavalla ja läpinäkyviä alueita Opacity-kanavalla. On myös mahdollista määritellä aivan omat kanavat, joita kutsutaan käyttäjäkanaviksi. Näille voi määritellä omat arvonsa, mutta tärkein on kuitenkin mustavalkoinen niin sanottu käyttäjäarvo.

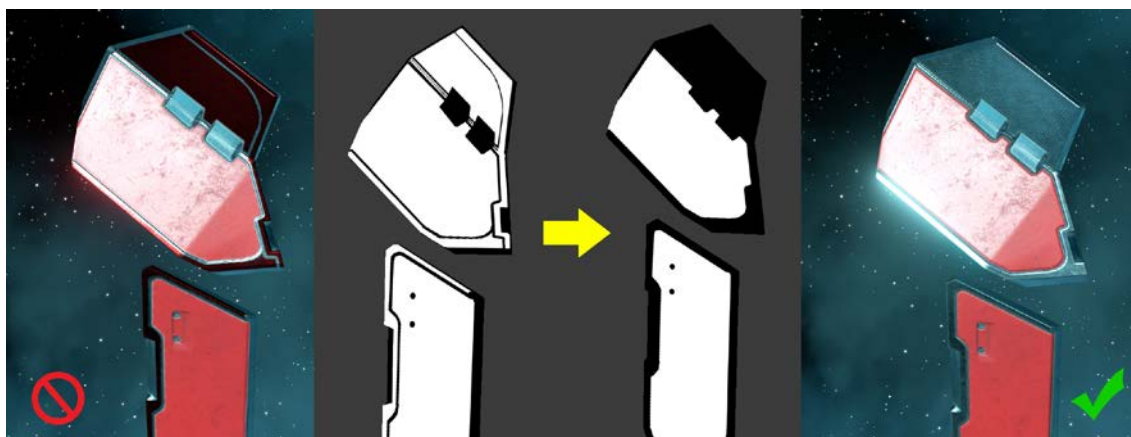


Kuvio 22. Valkoiset viivat ilmaantuvat UV-saumojen kohdille haarniskan pinnalla, kun saarekkeiden ulkopuolelle ei vuoda pikseleitä. Ratkaisuna kuvioiden maskit suodattuvat käyttäjäkanavien avulla oikeille värikanaville oikean kerroshierarkian ansiosta. Valkoiset viivat katoavat, kun maskit on tehty oikein.

Halutuille materiaalikerroksille määritellään omat maalikuvioita vastaavat käyttäjäkanavat. Ne nimetään tutuilla nimillä Base, Deco, Simple ja Areas. Sitten ne asetellaan materiaalien kerroshierarkiassa värjättävien alueiden maskin alle. Näitä kerroksia käytetään normaalisti maalatessa maalikuvioita. Exportointivaiheessa käyttäjäkanavien tieto ohjautuu oikeille värikanaville suodattuen värjättävien alueiden maskin läpi ja lopputulokseksi muodostuu tekstuurikartta, jossa UV-saarekkeiden ulkopuolelle vuotaa maskien mustavalkopikseleitä. Tuloksena haarniskojen pinnoilla olevat valkoiset viivat katoavat, UV-saarekkeiden saumojen ulkopuolelle levittyvän väritiedon ansiosta.

4.5 Siistit ja tarkat maskit työläitä toteuttaa

Sävytysmaskissa olivat kuitenkin ongelmana sen sisältämien kuviomaskien virheellisuudet. Kun niiden avulla värjätään haarniskojen pintoja, paljastuu pilkkuja ja muita ruhjeita maskeista. Ne saattoivat sisältää pieniä kohtia, joissa työskentelyn aikana maalaussivelin on osunut väärään kohtaan tai haluttua aluetta ei ole maalattu loppuun asti. Pieniä maalaamattomia alueita on saattanut jäädä pinnan rakoihin ja muihin vaikeasti saavutettaviin kohtiin. Näitä virheitä tulee tehtyä valitettavan paljon työskentelyn ohessa ja ne siirtyvät exportoinnissa sävytyskartan maskeihin ja siten aiheuttavat virheitä aktivoitessa kuvioita haarniskojen pinnoilla.

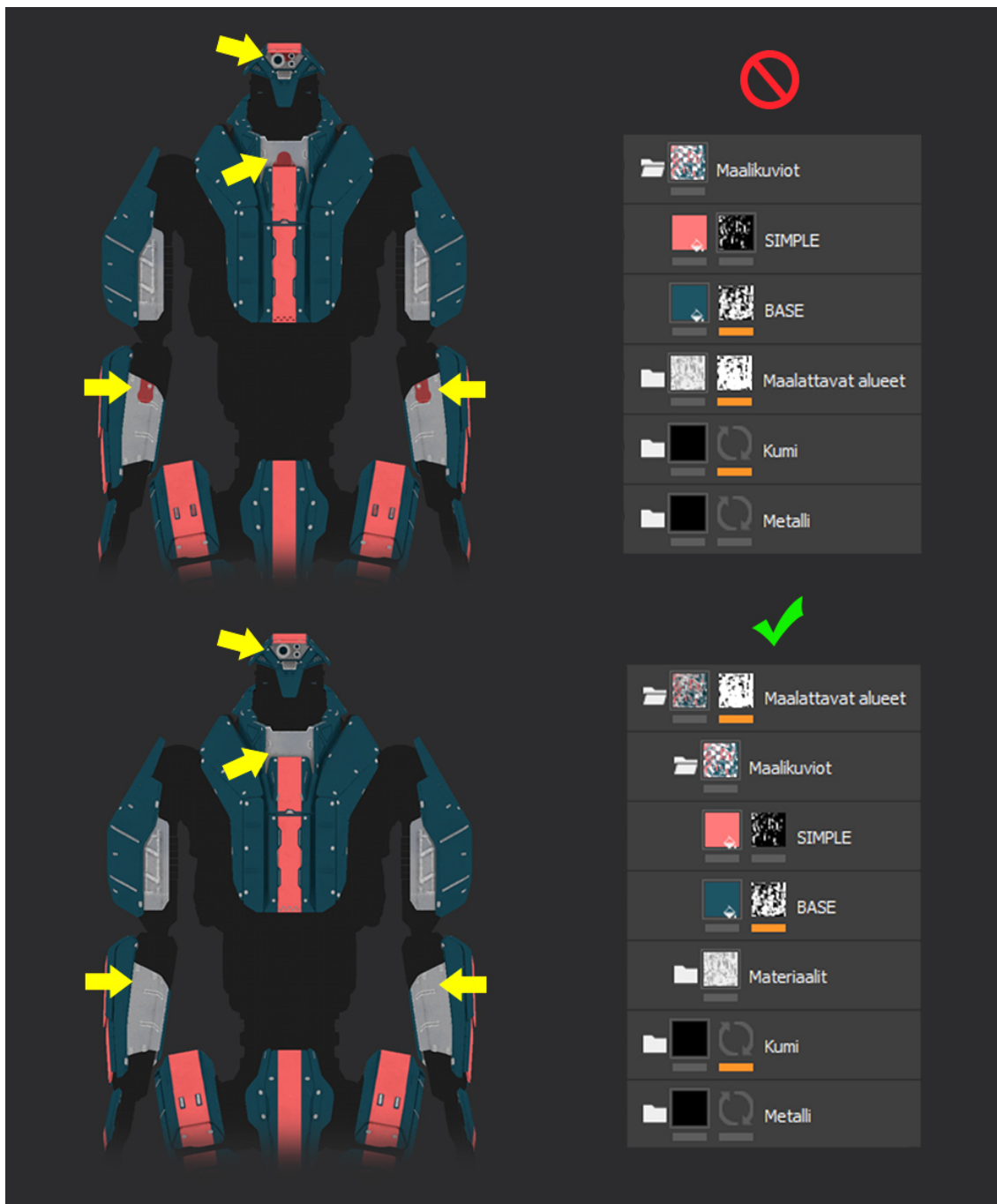


Kuvio 23. Vasemmalla maski on maalattu huonosti ja siksi metalliset alueet värjäytyvät tumman punaisiksi. Oikealla maski on maalattu tarkasti ja metalliset alueet eivät värjäänny.

Alun perin ratkaisin ongelman käyttämällä paljon aikaa maskien eheyden tarkistamiseen ja korjailemalla virheitä sitä mukaa kun niitä huomasin. Apuna tässä toimi Substance Painterin maskinäkömä, joka näyttää mustavalkomaskin 3D-mallin pinnalla. Tästä näkömästä havaitsee helposti kirkkaan valkoisena loistavat virheet. Tämä korjausprosessi tuli tehdä kaikille kuviokokonaisuuksille ja vielä lopuksi koko Base-alueelle. Näin maskeista tuli virheettömiä ja siistejä. Tämä prosessi kuitenkin vei aivan liikaa aikaa.

Nopeuttaakseni työskentelyä, järjestelin materiaalikerrokset uusiksi ja muutin exportointiasetuksissa sävytyskartan kanaville kohdistetun tiedon toisenlaiseksi. Alun perin olin tallentanut kuviomaskien käyttäjäkanavien mustavalkoarvot sävytyskartan värikanaville harmaasävyisinä. Tällöin maskit siirtyivät sävytysmaskiin sellaisinaan sisältäen virheet. Järkevämpi tapa olikin ohjata käyttäjäkanavien arvot värikanaville alpha-tietona, jolloin koko kerroshierarkian maskien läpi suodattuvasta kuviomaskista karsiutuu pois turhat ja virheelliset osat. Tämä tapahtuu, kun kuvioiden kerrokset on asetettu kerroshierarkiassa

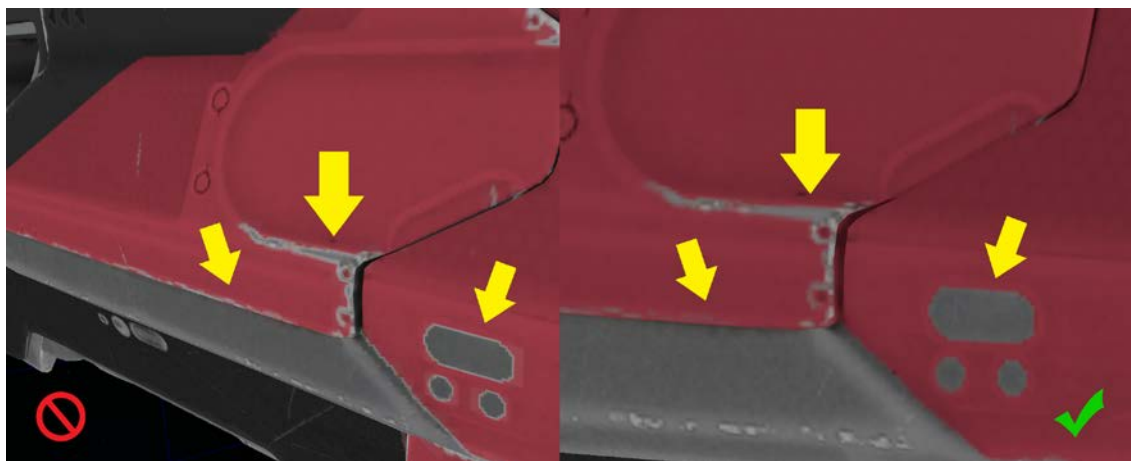
värjättävien alueiden kerroksen alaisuuteen. Tällä tavalla noin puolet manuaalisista korjaustoimenpiteistä automatisoituu ja työtaakka kevenee. On yhä tarpeellista korjata kuviomaskien virheet värjättävien alueiden sisäpuolelta, koska ne eivät rajaudu pois automaattisesti. Prosessi on kuitenkin nyt selkeästi nopeampi.



Kuvio 24. Simple-kuvioiden maskiin on jäänyt virheitä. Ne saadaan piiloon, kun kuviokerros siirretään maalattavien alueiden maskin alaisuuteen materiaalikerroksen hierarkiassa.

4.6 Sävytysmaskin kertoimen aiheuttamat valkoiset rajat

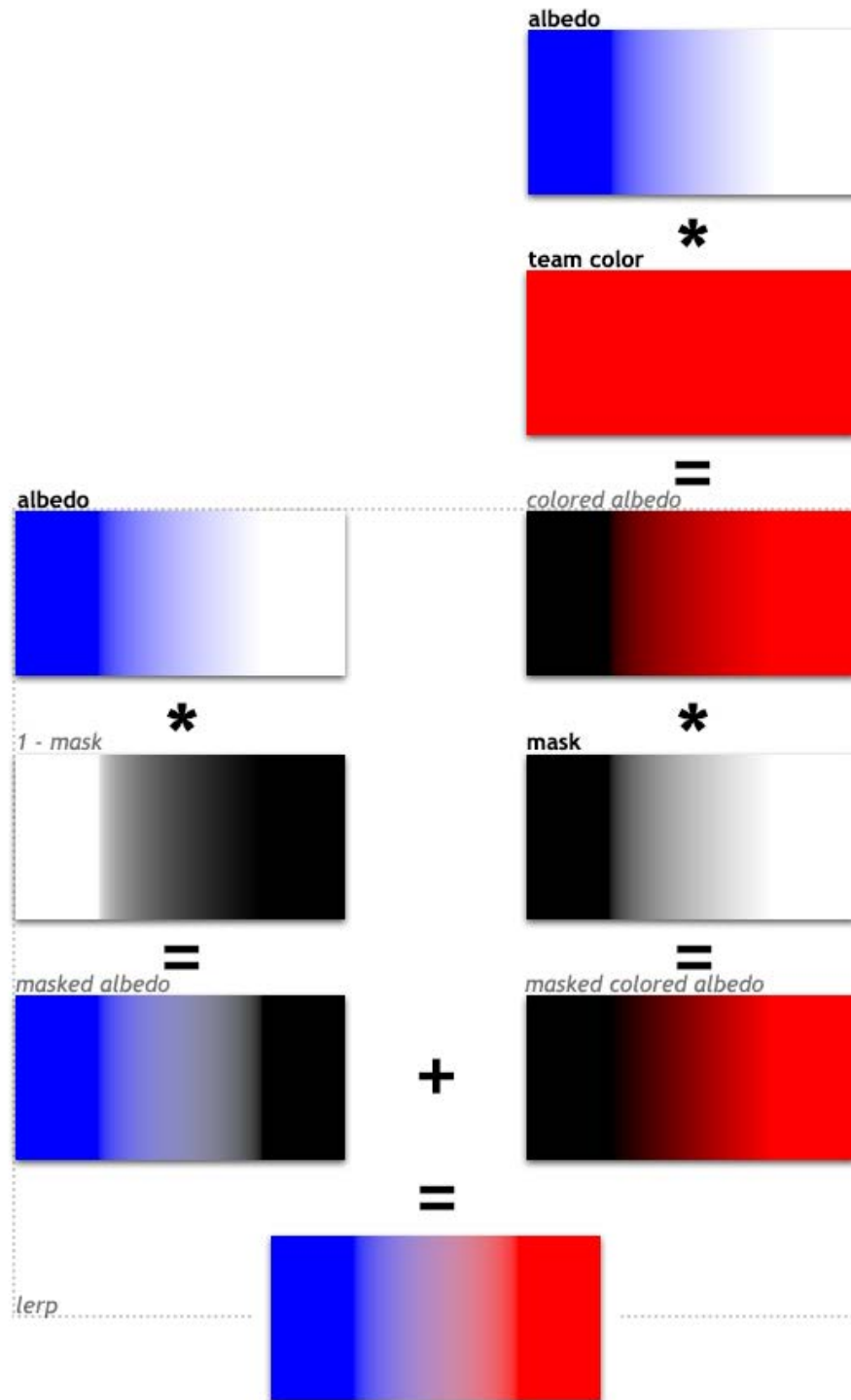
Haarniskojen värjäyksessä on päästy hyvään tilanteeseen, jossa sävytysmaskin sisältämät kuviomaskit toimivat kuten on suunniteltu ja niiden luominen on suhteellisen kivutonta. Valitettavasti vielä yksi ongelma on ratkomatta, jotta maskit toimisivat täydellisesti. Huomasin ohuiden vaaleiden viivojen ilmaantuneen Base-maskin ja värjäämättämien alueiden rajoille. Maskin pienet kulumajäljet pahensivat ongelmaa, koska kulumat olivat pieniä reikiä maskissa ja kaikkien niiden rajoille muodostui valkoinen viiva.



Kuvio 25. Punaiseksi värjätyn Base-maskin rajaaman alueen reunoille muodostuu valkoinen raja multiply-laskutoimitusta käytettäessä. Oikealla haluttu tulos.

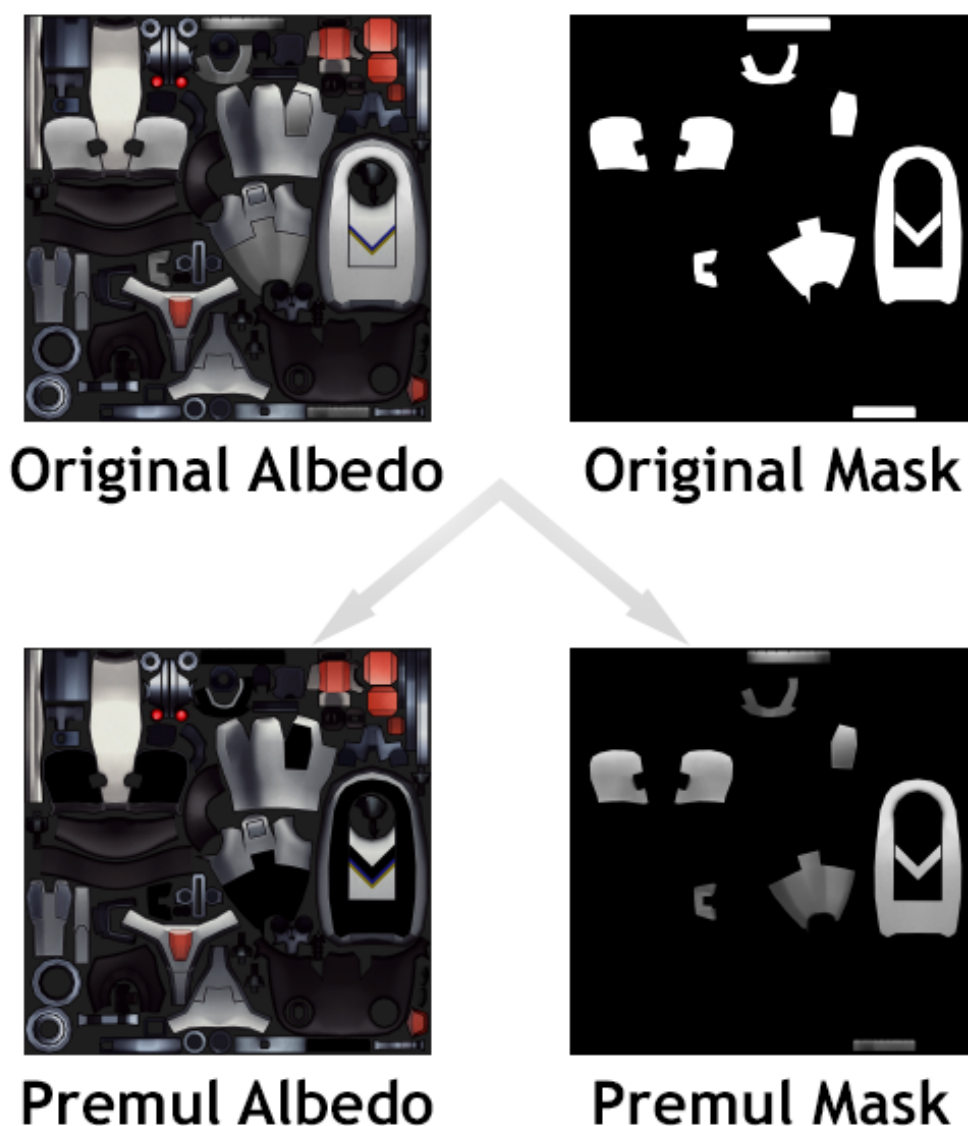
Ongelma juontaa juurensa kuvan pikselien värien sekoittumiseen. Tätä kutsutaan termillä bilinear filtering tai bilineaarinen suodatus. Tässä tapahtumassa kahden tai useamman erivärisen pikselin värit sekoittuvat lineaarisesti ja niiden väliin muodostuu gradientti väreistä. Bilineaarista suodatusta käytetään, kun tekstuureita katsellaan näytöllä eri kokoisina. Kuvan kasvaessa pikselien väleihin lasketaan värien keskiarvo. Näin suurennettu tekstuuri näyttää miellyttävämmältä kuin jos suodatusta ei tehtäisi. (Golus 2018.)

Haarniskojen sävytyksessä multiply-laskutoimitus kertoo pikselien värien tuloksen harmaasävyjä perustekstuurista, mustavalkoarvoja sävytysmaskista ja vielä lopuksi uudesta sävytysväristä. Näillä arvoilla suoritetaan multiply-laskutoimituksen sisäinen lerp-funktio, joka on kuvattu seuraavan sivun kaaviossa. Koska mustan arvo on 0 ja valkoisen 1, pikselien väliset vaaleat ja tummat gradientit ynnätään yhteen ja lopputuloksena vaalean arvot voittavat. Tästä tuloksesta muodostuu vaalea viiva maskien rajoille.



Kuvio 26. Kaaviossa on kuvattu Albedon eli perusvärin kertominen uudella värillä (team color). Bilineaarinen suodatus on muodostanut pikseleiden värien keskiarvoollisen gradientin niiden väleihin. Multiply-laskutoimituksen sisäisessä lerp-funktiossa sekä alkuperäinen perusväri että uudella sävyllä värjätty perusväri kerrotaan mustavalkomaskilla. Lopuksi tulokset summataan yhteen ja vaalean gradientin arvot voittavat. Lopputulokseen jää vaalea gradientti värien väliin. (Golus 2018.)

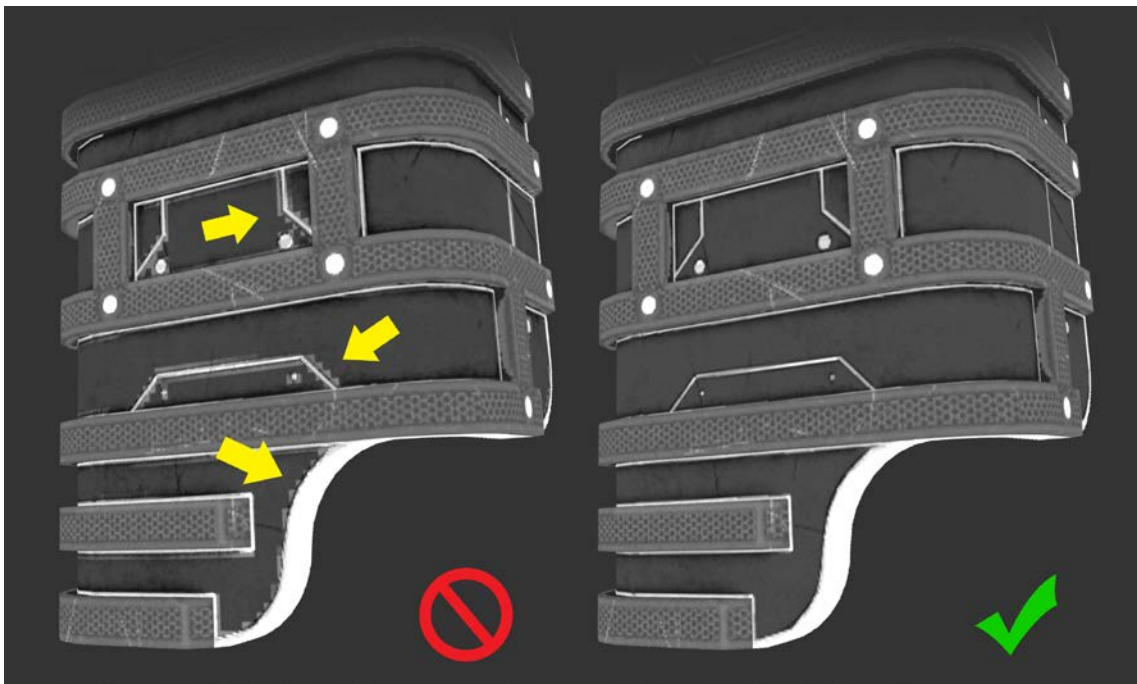
Onneksi ratkaisu on olemassa ja se on täysin varjostimen koodissa toteutettavissa. 3D-taiteilijan ei tarvitse tehdä mitään asian korjaamiseksi. Käytännössä lerp-funktion sisäinen kertominen suoritetaan jo ennen sävytyksen multiply-laskutoimitusta. Tulokseksi saadaan tilanne, jossa perustekstuurin vaaleiden värjättävien alueiden tilalle tulee aukot eli ne muuttuvat mustiksi. Sävytysmaskeihin siirtyy värjättävien alueiden tieto. Käytännössä sävytysmaski ei oikeastaan ole enää maski vaan perustekstuurin tieto on vain jaettu kahdelle kartalle. Tätä kutsutaan premultiply-laskutoimitukseksi tai esikertomiseksi. (Golus 2018.)



Kuvio 27. Premultiply-laskutoimitus "siirtää" vaaleat värjättävät alueet perustekstuurista sävytysmaskiin. Tämä suoritetaan ennen itse multiply-laskutoimitusta. (Golus 2018.)

Varjostimen koodi hoitaa ennakkokertomisen kaikille sävytysmaskin maskeille. Alkuperäisten perustekstuurien ollessa harmaasävyisiä, niiden vaaleat värjättävät alueet siirretään sellaisinaan sävytysmaskin yksittäisille mustavalkoisille värikanaville. Seuraavaksi sävytyksen multiply-laskutoimituksessa uudella värillä kerrotaan enää vain sävytysmaskeihin siirtyneet värjättävät alueet. Perustekstuureihin ei enää kosketa. Näin siis kerrotaan vain kahta väriarvoa alkuperäisen kolmen sijasta ja bilineaarisen suodatuksen aiheuttamaa vaaleata gradienttia ei pääse syntymään missään vaiheessa.

Periaatteessa esikertaamisen voisi tehdä manuaalisesti kuvankäsittelyohjelmassa ja tuoda nämä tekstuurikartat muutettuina pelimoottoriin. Lopputulos olisi sama ja varjostimen ei tarvitsisi suorittaa esikertaamista. Varjostintason laskenta kuitenkin nopeuttaa 3D-taiteilijan työtä merkittävästi, kun perustekstuurit ja sävytysmaskit voi tuoda pelimoottoriin alkuperäisinä eikä jokaista erillistä karttaa tarvitse manuaalisesti esikertoa. Normaalisti tekstuureja päivitetään monta kertaa, kun niitä testaillaan. Jos tässä välissä pitäisi käydä kuvankäsittelyohjelmassa esikertaamassa päivitettyt tekstuurit uudestaan ja uudestaan, tuhlaantuisi aikaa ja vaivaa aivan liikaa. Varjostimen tasolla tapahtuva esikertominen on kaikkein optimaalisin ratkaisu, vaaleat rajat katoavat ja sävytetyt haarniskat näyttävät oikeilta.



Kuvio 28. Vaaleat virheet maskien rajoilla näkyvät erityisen hyvin, kun uusi sävytys on tumma. Haarniskojen tekstuuriresoluutio voi myös olla aika pieni. Näissä tapauksissa vaaleat rajat ovat pikselöityneitä ja sahalaitaisia. Esikertaaminen korjaa nämä virheet.

5 Lopputulos pelissä ja pohdinta

Tässä opinäytetyössä kerroin, kuinka Frozenbyten avaruuspelin hahmojen haarniska-kustomisaatiota varten tehtiin perustekstuurit ja niiden värjäämiseen tarkoitetut sävytys-maskit. Selvensin teksturointiprosessin kulkua ja sitä, miten erilaiset maalikuviot tehdään haarniskojen pinnoille. Lopuksi esittelin kolme ongelmaa, jotka ilmaantuivat sävytysmas-kin luomisen aikana ja ohessa.

Avaruuspelin eri osa-alueet kehittyvät ajan myötä aina pelin julkaisuun asti. Tässä opin-äytetyössä esitellyn prosessin myötä haarniskojen tekstuurit ovat hiottuja, toimivia ja niitä voi kutsua valmiiksi. Niiden kehittämiseen saatetaan kuitenkin palata niin kauan, kunnes pelin ominaisuuksien yksityiskohdat tarkentuvat. Tekstuureja tehdessä on aluksi järkevää tehdä nopeat versiot, jotta niitä voidaan testata aikaisessa vaiheessa. Näin varmistetaan niiden toimivuudesta yleisellä tasolla. Vasta sitten kannattaa tehdä lopullisiksi tarkoitetut ja laadukkaat tekstuurit, vaikka niitäkin parannellaan vielä useaan kertaan yleensä. Myös 3D-taiteilijan oppimat uudet taidot ja pelimoottorin kehittyminen mahdol-listavat aikaisempien tekstuurien parantelun.

Sävytysmaskin maalikuviot mahdollistavat haarniskojen laajat värjäysmahdollisuudet. Niitä hyödyntämällä ja eri haarniskoja yhdistelemällä voidaan luoda lukemattomia erilai-sia haarniskakokonaisuuksia pelaajalle löydettäväksi ja ostettavaksi. Tulevaisuudessa voidaan ehkä Anthem-pelin tapaan vaihtaa jopa materiaaleja käyttäen sävytysmaskin sisältämiä alueita rajaavia maskeja. Mahdollisuudet ovat kuitenkin jo nyt valtavat.

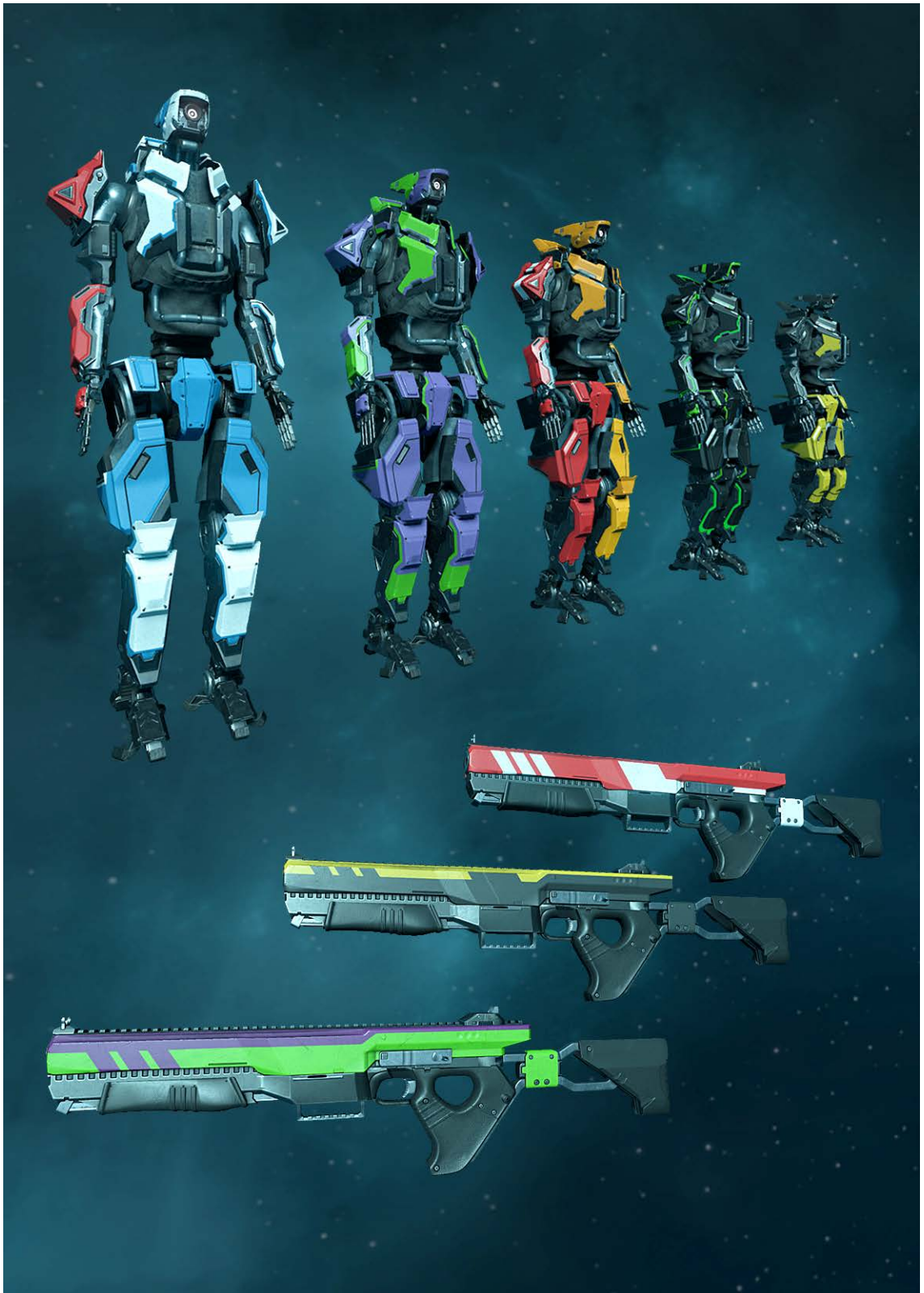
Työskentely jatkuu tekstuurien teon jälkeen pelimoottorissa. Haarniskojen yhdistelmien suunnittelu ja testaaminen on valitettavasti työlästä ja hidasta puuhaa moottorin nykyi-sillä työkaluilla. Uuden haarniskakokonaisuuden kokoaminen tarvitsisi mahdollisimman helpon tavan vaihdella eri haarniskapaloja ja niiden värejä. Tällaista helppoa tapaa ei tällä hetkellä ole. Nykyisillä työkaluilla nopein tapa on ollut kokeilla suoraan pelin aikana erilaisia haarniskayhdistelmiä robottihahmon päällä. Hyvän yhdistelmän löydyttyä, tämä kasataan käsiteltäväksi pelimoottorin editointiympäristössä ja sitten testillaan eri haar-niskapalojen kuvio- ja värikokonaisuuksia.

Toivoisin tulevaisuudessa jonkinlaista editointiympäristössä toimivaa haarniskatestailukokonaisuutta, joka koostuisi pelin robottihahmosta ja sille voisi vaihdella haarniskoja samoin kuin pelatessa, mutta vain paria nappia painamalla. Näille määritellyille haarniskoille voisi sitten tallentaa omat kuviot ja värit. Tämä tieto taas siirtyisi automaattisesti esiasetuksiin, joita voisi vaihdella haarniskojen välillä. Nykyisillä työkaluilla värien ja kuvioiden tiedot tallennetaan erikseen omaan tiedostoonsa, joka toimii esiasetuksena. Tämän tiedoston voi sitten määrittää useille eri haarniskapaloille. Esiasetusta muuttamalla voidaan saada muutettua monen haarniskan värit kerralla.

Edellä mainittujen työkalujen avulla luodaan eri haarniskakokonaisuudet avaruuspeleihin. Parannettavaa on, mutta työskentely onnistuu nykyisellä tavalla tyydyttävästi. Teksturointiprosessi ja sävytysmaskin teko ovat jo toimivia eivätkä ne aiheuta virheitä, kun opinäytetyössä esitellyt ongelmat ratkaistiin. Loppu haarniskojen teksturoinnista onkin taiteellista työtä. Kun opinäytetyössä esiteltyä työjärjestystä seuraa, on helppoa keskittyä perustekstuurien taiteelliseen ulkoasuun ja maalikuvioiden maalaamiseen.

Sävytysmaskin periaatteet ovat tunnettuja ja käytettyjä pelialalla. Avaruuspeleiden oma sovellus on optimaalinen työskentelyn osalta ja neljä eri mustavalkokuvaa sisältävä tekstuurikartta on myös suhteellisen kevyt pelin suorituskyvylle. Varjostimen tasolla tapahtuva esikertominen helpottaa 3D-taiteilijan työtä, mutta toisaalta se saattaa tuottaa ylimääräisiä laskutoimituksia pelin laskettavaksi, mitä ei välttämättä tarvitsisi tehdä. Pelissä on lukematon määrä erilaisia funktioita ja sävytysmaskin esikertoimesta tulee muutama lisää. Mietin, onko työtaakan helpotus mahdollisen laskennan lisääntymisen arvoista vai onko huoleni turha.

Kaikkien tässä opinäytetyössä esiteltyjen asioiden myötä lopputuloksena peliin saadaan valtava määrä erilaisia haarniskoja. Niiden sävytys toimii sekä teknisellä että taiteellisella tasolla. Haarniskakustomisaation toteutus sovelletaan myös avaruuspeleiden muille esineille, kuten aseille ja erilaisille työkaluille. Niillä tulee olemaan omat maalikuviot, joiden avulla tehdään erilaisia versioita. Avaruuspeleiden kustomisaatio ei siis jää vain robottihahmojen muokkaukseen, vaan pelin filosofian mukaisesti sen koko sisältö on muokattavissa aina haarniskoista suuriin avaruusasemiin.



Kuvio 29. Avaruuspelin haarniskakokonaisuuksia värjäämällä ja kolmea kuviokokonaisuutta yhdistelemällä saadaan aikaiseksi monia erilaisia haarniskaversioita. Samaa menetelmää hyödynnetään myös pelin aseille.

Lähteet

Bech-Yagher, Cirstyn 2018. UV mapping for beginners. www.creativebloq.com <<https://www.creativebloq.com/features/uv-mapping-for-beginners>> (luettu 20.2.2019)

Destinypedia 2018. Shaders. <<https://www.destinypedia.com/Shaders>> (luettu 19.2.2019)

EA 2018. What you need to know about personalizing your Javelin. www.ea.com <<https://www.ea.com/games/anthem/news/forged-javelin-cosmetics-livestream>> (luettu 19.2.2019)

EarthQuake 2012. You're making me hard. Making sense of hard edges, uvs, normal maps and vertex counts. polycount.com <<https://polycount.com/discussion/107196/youre-making-me-hard-making-sense-of-hard-edges-uvs-normal-maps-and-vertex-counts>> (luettu 20.2.2019)

Golus, Ben 2018. The Team Color Problem. Luettavissa osoitteessa <<https://medium.com/@bgolus/the-team-color-problem-b70ec69d109f>> (luettu 21.3.2019)

Halopedia 2018. Armor permutations. <https://www.halopedia.org/Armor_permutations> (luettu 18.2.2019)

Hitchings, Lance 2013. 3D Workflow for Designers & Art Directors: Modeling. blog.hitchingsdesign.com <<http://blog.hitchingsdesign.com/3d-workflow-for-designers-art-directors-modeling/>> (luettu 19.2.2019)

Polycount wiki 2018. Channel Packing. Wiki.polycount.com <<http://wiki.polycount.com/wiki/ChannelPacking>> (luettu 12.3.2019).

Russel, Jeff 2015. Basic theory of physically-based rendering. marmoset.co <<https://marmoset.co/posts/basic-theory-of-physically-based-rendering/>> (luettu 23.2.2019)

Substance Painter Documentation. Masking and effects. allegorithmic.com <<https://support.allegorithmic.com/documentation/spdoc/masking-and-effects-125042706.html>> (luettu 25.2.2019)

Sudhakaran, Sareesh 2013. What is a Digital Image Channel and the Alpha Channel? Wiki.polycount.com <<https://wolfcrow.com/what-is-a-digital-image-channel-and-the-alpha-channel/>> (luettu 12.3.2019).

Wilson, Joe 2017. The toolbag baking tutorial. marmoset.co <<https://marmoset.co/posts/toolbag-baking-tutorial/>> (luettu 21.2.2019)

Kuvalähteet

Kuvio 2. Homeworld 2 Remastered 2015. www.homeworldremastered.com
<http://www.homeworldremastered.com/images/new_01.jpg> (luettu 19.2.2019)

Kuvio 3. Sallet n.1500 jkr. wallacelive.wallacecollection.org
<<https://wallacelive.wallacecollection.org:443/eMP/eMuseumPlus?service=ExternalInterface&module=collection&objectId=60573&viewType=detailView>> (luettu 8.2.2019)

Kuvio 3. Black Sallet. myarmoury.com
<http://pics.myarmoury.com/blacksallet1490v2_s.jpg> (luettu 8.2.2019)

Kuvio 4. Halopedia.org <<https://www.halopedia.org/File:H5-Multiplayer-SpartanIVs-GEN2-Armors.jpg>> (luettu 18.2.2019)

Kuvio 5. Guardian. www.destinypedia.com
<<https://www.destinypedia.com/File:Guardian!.jpg>> (luettu 19.2.2019)

Kuvio 6. Anthem screenshots. www.ea.com <<https://media.contentapi.ea.com/content/dam/ea.com/anthem/images/2018/12/anthem-screenshot-vga-customization-03.jpg.adapt.crop16x9.818p.jpg>> (luettu 19.2.2019)

Kuvio 7. Hitchings, Lance 2013. 3D mesh components. blog.hitchingsdesign.com
<http://blog.hitchingsdesign.com/wp-content/uploads/2013/07/3D_mesh_components.jpg> (luettu 19.2.2019)

Kuvio 8. Bech-Yagher, Cirstyn 2018. www.creativebloq.com <<https://cdn.mos.cms.futurecdn.net/j6wWmEeNFUvATtEU4F2TrA-650-80.jpg>> (luettu 20.2.2019)

Kuvio 9. Wilson, Joe 2017. marmoset.co <<https://mk0marmoset2r9got8jk.kinstacdn.com/wp-content/uploads/2017/04/eotechhighlowb.jpg>>
(luettu 21.2.2019)

Kuvio 10. Wilson, Joe 2017. marmoset.co <https://mk0marmoset2r9got8jk.kinstacdn.com/wp-content/uploads/2017/04/radio_maps_comp.jpg>
(luettu 21.2.2019)

Kuvio 11. Wilson, Joe 2015. Physically-based rendering. marmoset.co
<<https://mk0marmoset2r9got8jk.kinstacdn.com/wp-content/uploads/2014/01/header01.jpg>> (luettu 23.2.2019)

Kuvio 26. Gulus, Ben 2018. The Team Color Problem. <https://cdn-images-1.medium.com/max/1600/1*fyoTlj3Tdh14sKq8szcR1A.png> (luettu 21.3.2019)

Kuvio 27. Gulus, Ben 2018. The Team Color Problem. <https://cdn-images-1.medium.com/max/720/1*m-t1llc1bUf-mVkxepnQQ.png> (luettu 21.3.2019)