

Państwowa Wyższa Szkoła Filmowa Telewizyjna i Teatralna im. Leona Schillera w Łodzi

Wydział Operatorski i Realizacji Telewizyjnej

Specjalność: Sztuka operatorska

Autor:

Karol Stadnik

Nr albumu: 6053/06

**„TO, CO MAŁE... NOWE NARZĘDZIA KREOWANIA
WSPÓŁCZESNEGO OBRAZU”**

Promotor:

prof. dr hab. Piotr Wojtowicz

Promotor pomocniczy:

dr hab. Wojciech Staroń, profesor

Uczelni

Łódź, 2020 r.

Spis treści

Wstęp.....	3
Rozdział I – Rys historyczny.....	5
I.1. Podstawowy zarys historii filmowych efektów wizualnych (VFX).....	5
I.1.A. Ruch kamery.....	8
I.1.B. Era cyfrowa.....	11
Rozdział II – Opis wybranych elementów i procesów tworzących wirtualny, fotorealistyczny obraz	16
II. 1. Referencje	16
II. 2. Modelowanie	24
II. 3. Teksturowanie	46
II. 4. Oświetlenie	54
II. 5. Panoramiczne tło HDRI.....	60
II. 6. Compositing	63
Rozdział III – Przedstawienie oprogramowania	66
Zakończenie.....	75
Słownik pojęć.....	76
Bibliografia.....	77
Linki.....	78
Załączniki.....	79

Wstęp

Pragnienie obrony pracy doktorskiej narodziło się we mnie już kilka lat temu.

Swoją pracę traktuję osobiście, zarówno jej część pisemną jak i praktyczną. Nie należy oceniać jej zatem w kategorii próby wspięcia się na kolejny szczebel kariery naukowej, czy też jako odhaczonego osiągnięcia.

Od dziecięcych lat przejawiałem zamiłowanie do formowania materii, której bogactwo mnie otacza. Moją intencją i ideą artystyczną jest kreowanie nowych mechanizmów służących do poznawania technologii, a także tworzenie lub odtwarzanie elementów świata, który nieustannie mnie zdumiewa. W świecie filmowym piękna wydaje się możliwość kreowania rzeczywistości, której nie ma, lub też tej ukrytej dla większości ludzi – czekającej na ujawnienie.

Moje dzieciństwo obfituje w obrazy, które po raz pierwszy widziałem dzięki twórczej pracy filmowców. Pamięć wielu filmów, które robiły na mnie wrażenie jeszcze w okresie dziecięcym, skierowała mnie na filmy takie jak „*Mucha*” Cronenberga, czy „*The Thing*” Johna Carpentera, czy wreszcie „*Ósmy pasażer Nostromo*” Ridleya Scotta. Rodzaj efektów wykorzystywanych w tych filmach nosi miano z ang. „practical effects”. Są to efekty budowane nie wirtualnie, ale jako namacalne elementy sceny, które ujęte w odpowiedni sposób i z odpowiednim przygotowaniem, przynosiły realistyczne rezultaty. *Practical effects* oczywiście nie wyginęły, wręcz przeciwnie – twórcy tacy jak Stan Winston rozwinęli tę dziedzinę do perfekcji. Jak przyznał sam James Cameron w prywatnej rozmowie, może być tak, że każde ujęcie w scenie powstanie przy użyciu innej techniki, ważne by całość przekonywała. Wizje twórców kinematografii kształtowały moją wyobraźnię i poszerzały horyzont. To dla mnie zaszczyt, że jakkolwiek mogę należeć do świata filmu i stanowić jego część.

Moje pokolenie żyje w ciekawych, intrygujących czasach. Współczesność daje bowiem ogromną wolność wyboru celu, swobodę w działaniu i łatwy dostęp do różnorodnych środków. Technologia pozwala na bardzo wiele i tym samym podsycza naszą odwagę do stawiania nowych kroków. Efekty tych decyzji poznamy dopiero po wielu latach. Przyniosą one postęp czy destrukcję?

Pracę praktyczną traktuję jako próbę wizualizacji rozwijającego się życia. Tego, które

dopiero się pojawia. Nie ma jeszcze imienia, nie ma wspomnień, wszystko jeszcze jest ukryte. Moja praca nie stanowi manifestu na korzyść jakichkolwiek wyborów życiowych. Nie jest moim celem wdawanie się w ocenę moralności, czy też aprobata lub kwestionowanie decyzji drugiego człowieka. Jest to na tyle złożone, że nie ma mowy o uogólnieniach, czy jednoznacznej, łatwiej do sklasyfikowania podstawie aksjologicznej. Myślę, że za każdym razem każdorazowa decyzja dotyczy innego człowieka z zupełnie inną historią, innym bagażem doświadczeń. Żniwo takiej czy innej decyzji będzie dla każdego inne.

W krótkiej formie filmowej „*To co małe...*” chciałbym podzielić się moim osobistym zachwytem nad życiem. Tworzenie obrazów wywołało u mnie poczucie wdzięczności, za to że tu jestem, a także pozwalało zaspokoić ciekawość natury medycznej. „*To, co małe...*” jest dobrym pretekstem do użycia narzędzi, które starałem się scharakteryzować sukcesywnie w kolejnych rozdziałach.

Serdecznie zapraszam do zapoznania się z częścią praktyczną oraz teoretyczną mojej pracy.

Rozdział I – Rys historyczny

I.1. Podstawowy zarys historii filmowych efektów wizualnych (VFX)

Początki realizacji filmu jako obszaru twórczości przypadają na lata 1895 – 1905¹. Efekty wizualne ograniczone były do obrazów, które dało się zarejestrować bezpośrednio kamerą. Były to prymitywne zabiegi, np. ujęcia polegające na zatrzymaniu kamery, podmianie elementów rejestrowanych i ponownym włączeniu kamery. Inne polegały na dzieleniu kadru na części i oddzielnym eksponowaniu poszczególnych jego elementów – mniej więcej tak, jak przy sprawdzaniu stabilności kamery światłoczułej. W tym wczesnym okresie, kamera nigdy się nie ruszała i był to warunek efektywności ówczesnej technologii efektów specjalnych. W przeciwnym razie bowiem żadne efekty nie byłyby możliwe.

Pierwszy efekt wizualny miał miejsce w roku 1895, w filmie „*The Execution of Mary, Queen of Scots*”. Był to dramat historyczny, nakręcony w studiu Thomasa Edisona w New Jersey. Alfred Clarc, który dołączył do personelu studia jako reżyser – producent, opracował technikę wyłączania kamery i podmiany postaci aktorki na kukłę z odczepianą głową².

Rok później we Francji magik Méliès odkrył podobny efekt rejestrując ulice Paryża. Jego kamera zacięła się i przestała rejestrować, jednak po kilku chwilach mechanizm ruszył na nowo. W rezultacie, materiał przedstawiał efekt, w którym autobus nagle zamienił się w konia³. Méliès wykorzystywał i udoskonalał ten efekt w wielu następujących krótkich filmach przez kolejne 15 lat.

Edwin S. Porter, twórca pracujący wówczas w studiu Edisona, pchnął tę technologię krok dalej w swoim filmie „*The Great Train Robbery*”, w roku 1903. Film jest uznawany za przełom, który zainspirował przyszłych filmowców. Jedną ze scen mającą miejsce w biurze z biletami pokazała nadjeżdżający i zatrzymujący się pociąg. Biuro nakręcone zostało w studiu i twórcy zadbali o to, aby zawartość okna była czarna, tak, żeby pozostawić tę część taśmy nienaeksponowaną. Następnie zasłonięto naeksponowaną

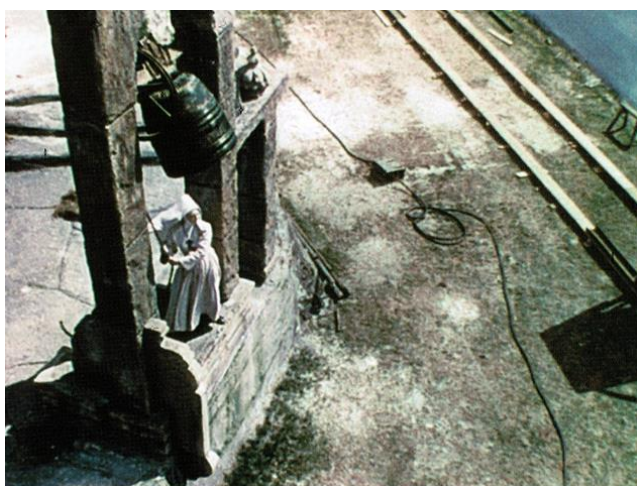
¹ Jeffrey A. Okun, Susan Zwerman, *The VES Handbook of Visual Effects Society, Industry Standard VFX Practices and Procedures*, 2010 Visual Effects Society, Published by Elsevier Inc., s. 4.

² Ibidem, s. 4.

³ Ibidem, s. 4.

część kadru czarną maską, tak by odsłonić tylko region okna. Taśmę cofnięto i naekspozowano jeszcze raz tylko w miejscu okna, rejestrując pociąg. Dzisiaj widać, że skala pociągu i perspektywa się nie zgadzają, ale dla widza w 1903 roku pozostawało to niesamowite.

Pierwsze dwudziestolecie wieku XX doświadczyło wielu bardziej skomplikowanych i wyszukanych efektów maskowania i masek namalowanych (*matte painting*), które budowały dodatkowe przestrzenie w kadrze i powiększały jego skalę. Malarze tacy jak: Norman Dawn w Kalifornii czy Percy Day w Anglii wynaleźli sposoby malowania *matte paintingów*, których używano w komponowaniu scen, aż do czasów cyfrowej obróbki obrazu. Norman'owi Dawn'owi przypisuje się wynalezienie techniki malowania maski na szkle użytej w roku 1907 w filmie „*California Missions*”. Percy Day zaczął swą karierę w roku 1919 i jest znany ze swoich *matte paintingów* do filmów takich jak: „*Thief Of Baghdad*” z 1940 roku i „*Black Narcissus*” z roku 1947.



(źródło: <https://imgur.com/gallery/z107PfS>
(dostęp: 10.01.2021))

Przykład użycia *matte paintingu* w filmie *Black Narcissus* – zdjęcie pierwsze obrazuje kadr z filmu bez *matte paintingu*, kolejne – kadr z gotowego filmu.



Do lat 30 – tych z powodzeniem używano też tylnej projekcji, a więc eksponowania aktorów na tle ekranu, na którym wyświetlano materiał nakręcony w innym miejscu. Metoda była często używana do realizacji scen wewnątrz jadącego samochodu, samolotu itp. Stopniowo udoskonalana, również poprzez rozwój technologiczny nośników światłoczułych, bardziej czułych, z mniejszym ziarnem, dużo bardziej precyzyjnych. Rozwijała się przez wiele lat, w różnych odsłonach, także przy pracy w skali i z ruchem kamery⁴.

Czołowym przykładem z czasów rozkwitu efektów budowanych „przed kamerą”, jest scena ataku samolotowego z filmu „*North by Northwest*” z roku 1959⁵. Pikujący samolot był projekcją, a postać Granta, wraz z piaszczystą drogą, będącą jednocześnie linią horyzontu pierwszego planu, znajdowali się przed ekranem projekcyjnym. Efekt jest do dziś dość przekonujący. Metody tej użyto nawet w „*Terminatorze 2*” Jamesa Camerona w roku 1991.

⁴ Jeffrey A. Okun, Susan Zwerman, *The VES Handbook of Visual Effects Society, Industry Standard VFX Practices and Procedures*, 2010 Visual Effects Society, Published by Elsevier Inc., s. 5.

⁵ Op. cit., s. 6.

I.1.A. Ruch kamery

Pierwsze próby kontrolowania ruchu kamery miały miejsce w studiu Thomasa Edisona już w roku 1914⁶. Jednak jako pierwsze mechanizmy połączone z kamerą, nie wypadły one zbyt praktycznie i były dość ograniczone. Pierwsza próba elektronicznego poruszania kamery miała miejsce w latach 40 – tych, poprzez system skonstruowany przez O.L. Dupy'ego, reżysera dźwięku z MGM. Duplikator Dupy'ego był oparty o tę samą technologię, której używano przy synchronizacji recorderów z ruchem kamery światłoczułej.

Systemu użyto w filmie „*Samson and Delilah*” w 1949 roku, by stworzyć scenę, w której życie postaci zagrożone jest przez zawałającą się świątynię. Kolejnym przykładem jest film „*An American in Paris*”, w którym połączono ruch kamery, zdjęcia z lokacji i *matte painting*. Technologii tej używano z sukcesem do lat 60-tych.



(źródło: The Vintage Camera, [France on Film: An American in Paris \(1951\) - The Vintage Cameo](#) (dostęp: 3.01.2021))

Kadr z filmu *An American in Paris* – przykład użycia *matte paintingu*, zdjęć lokacji, przy jednoczesnym ruchu kamery

Przełomem była „*Odyseja kosmiczna 2001*” Stanley'a Kubrick'a – arcydzieło zarówno pod względem sposobu opowiadania obrazem jak i wykorzystania technologii. Kamera poruszała się wokół makiet pojazdów kosmicznych, wybudowanych w skali, za pomocą silników sterowanych przez impulsy elektryczne zsynchronizowane z zegarem. Dzięki tej technologii, można było precyzyjnie powtórzyć ruch kamery i nakręcić kilka warstw tego

⁶ Op. cit., s. 6.

samego ujęcia, z których każdy zawierał inny element. W latach 70-tych zastosowano elektroniczne sterowanie ruchu maszyn używanych w przemyśle. Przemysł filmowy szybko zaadaptował to rozwiązanie i po krótkim czasie powstała możliwość precyzyjnego, cyfrowego kontrolowania ruchu kamery i miniatur w różnych osiach.

Film „*Gwiezdne Wojny*”, później „*Gwiezdne Wojny IV: Nowa Nadzieja*” podczas premiery w 1977 roku ukazał widzom efekt bardziej wiarygodny i oparty o dużo bardziej skomplikowany warsztat techniczny ruchu kamery i obiektów wewnątrzkadrowych. Mniej więcej w tym samym momencie, system ruchu kamery, użyty w filmie „*Bliskie spotkania trzeciego stopnia*”, oparty o ten z „*Gwiezdnych Wojen*”, zyskał możliwość nagrania ruchu głowicy kamery (tilt, pan), a także zmian ostrości i odtworzenia go w innym miejscu. Pozwolił również na zeskalowanie ruchu, by móc zarejestrować ten sam ruch w świecie miniatur. Ruch kamery, pierwotnie wykonany na planie w skali 1:1, musi zostać dokładnie odtworzony w mniejszej przestrzeni w zależności od skali. Dopasowywanie obydwu przestrzeni zaczyna się od pomiaru wielkości sceny oryginalnej i pomniejszonej. Wierzchołki tych scen (załóżmy, że to np. podłoga) w pierwszym i ostatnim punkcie ruchu kamery, muszą się pokrywać względem położenia w kadrze w obydwu ujęciach. Łatwo wtedy porównać perspektywę i odległości. Obiektów pozostaje ten sam, ale ponieważ obiekty w skali będą bliżej soczewki, musimy upewnić się, że pierwszy punkt ostrości obiektywu obejmie fotografowany miniaturowy obiekt. Zakres ruchu kamery będzie odpowiednio mniejszy, ale czas trwania ujęcia musi pozostać dokładnie taki sam.

Z czasem, rozwój tej technologii przyniósł elastyczność umożliwiającą zaplanowanie i odtworzenie ruchu kamery w każdej płaszczyźnie, z zachowaniem kontroli nad przysłoną, klatkarzem, kompensacją ekspozycji, ostrością, rozmyciem ruchu. W palecie sprzętowej pojawiły się takie urządzenia jak *BOLT high speed cinebot*, *MILO* czy *TITAN* – są one w stanie umożliwić ekstremalnie precyzyjny ruch kamery, całkowicie powtarzalny, zmieniany ze swobodą, nie do wykonania ludzką ręką. Dane dotyczące trajektorii ruchu mogą być eksportowane i czytane przez programy obsługujące środowisko 3d, łącząc ruch kamery obydwu przestrzeni. Narzędzia te stały się przełomowe, niezbędne przy kręceniu licznych scen, których wymowa na zawsze odmieniła kino.

Udoskonaleniem, o którym warto wspomnieć, jest możliwość połączenia ruchu

kamery i materiału zdjęciowego z podglądem przewizualizacji graficznej. Ta technologia pozwala reżyserowi widzieć przestrzenną kompozycję cyfrowych tła i postaci (w czasie rzeczywistym), a jednocześnie nakręcanych aktorów (w tym momencie). Daje to pewność, że ruch rejestrowany na planie pasuje do przestrzeni wirtualnej, na przykład ogromny robot będzie miał wystarczającą ilość miejsca pomiędzy aktorem a wirtualną ścianą. Pomaga to przy oświetlaniu sceny, doborze ogniskowej i konfigurowaniu wielu innych podstawowych atrybutów operatorskich.

I.1.B. Era cyfrowa

W późnych latach 50 - tych i 60 - tych, John Whitney Senior zaczął fotografować ruchome promienie świetlne i oświetlone przedmioty, poruszane przez analogowe komputery. Wzory zarejestrowane przez kamerę, zsynchronizowane z ruchem, sprawiały wrażenie skomplikowanych i złożonych. Eksperymenty te były inspiracją do stworzenia tzw. fotografii szczelinowej (*slit – scan*), wykorzystanej potem do stworzenia sekwencji gwiazdnych wrót w filmie „2001: Odyseja kosmiczna” z roku 1968. Technika i ruchome obrazy Johna Whitney'a przykuły uwagę świata filmowego na tyle, iż po oficjalnym założeniu jego firmy *Motion Graphics Inc.* wykonał on czołówkę do filmu Alfreda Hitchcock'a „*Vertigo*” z roku 1960.

W roku 1962, Ivan Sutherland pod skrzydłami *Massachusetts Institute of Technology (MIT)* opublikował pracę zakładającą koncept interaktywnego, graficznego interface'u dla komputerów. Jego praca wpłynęła na szereg badań i ogromną ilość pionierskich odkryć dużej liczby osób ze świata nauki, którzy ostatecznie znaleźli drogę do tworzenia obrazu za pomocą komputerów. Mowa tutaj między innymi o: Alvy Ray Smith, Jim Blinn, Ed Catmull, Steven Coon, Pierre Bezier, Henri Gouraud, Bui Thoung Phong, Turner Whitted, lista jest długa, a każde kolejne nazwisko, to nowa przygoda w tworzenia fundamentu cyfrowej grafiki komputerowej⁷.

We wczesnych latach 70-tych, John Whitney Junior i Gary Demos pracowali pod skrzydłami Information International, Inc. Znanej głównie pod nazwą *Tripple – I*, firmy produkującej sprzęt odpowiedzialny za wysokiej rozdzielczości skany i obróbkę obrazu. Utworzono Motion Picture Products Group i zaczęto specjalizować się w tworzeniu komputerowych, ruchomych obrazów graficznych, które powoli stawały się narzędziem filmowego opowiadania. Wcześniej były to tylko akademickie rozważania, które stopniowo przybierały użytkową formę. *Tripple – I* przeprowadziło testy do filmów takich jak „*Bliskie spotkania trzeciego stopnia*” (1977) i „*Gwiazdne Wojny: Imperium kontratakuje*” (1980), dodatkowo tworząc pierwsze wygenerowane komputerowo animacje do kilku reklam. Pracowano przy filmach „*Westworld*” (1973) i „*Futureworld*” (1978), w których po raz pierwszy użyto trójwymiarowych obiektów (ręka i twarz Petera Fondy). Najbardziej

⁷ Jeffrey A. Okun, Susan Zwerman, *The VES Handbook of Visual Effects Society, Industry Standard VFX Practices and Procedures*, 2010 Visual Effects Society, Published by Elsevier Inc., s. 10.

złożone efekty tamtego okresu użyto w filmie „*Tron*” z roku 1982. Zrzeszały one prace najwybitniejszych artystów i naukowców wielu ówczesnych firm takich jak *Tripple – I, MAGI, Robert Abel & Associates i Digital Effects*. W roku 1982, *PIXAR*, wtedy jeszcze oddział *Industrial Light and Magic*, stworzył sekwencję powstania ziemi z filmu „*Star Trek: The Wrath of Khan*” (1982). Była to pierwsza sekwencja, w której użyto symulacji cząsteczek w celu odtworzenia naturalnego zjawiska. Efekt nie był foto – realistyczny, ale całkowicie przekonujący, opowiedział bowiem historie obrazem.

W roku 1983, Whitney i Damos utworzyli *Digital Productions*, dzięki nabyciu i wykorzystaniu siły przeliczeniowej *Cray X-MP* (Najbardziej wydajnego super – komputera tamtych czasów), byli w stanie stworzyć setki ujęć do filmu „*The last Starfighter*” (1984). Efekty zaczęto tworzyć na ogromną skalę i z dużo większym poziomem skomplikowania niż kiedykolwiek wcześniej. Od tej pory, graficzne efekty komputerowe nie były tylko dodatkiem do materiału rejestrowanego, ale stały się narzędziem będącym w stanie tworzyć obraz, który pełnoprawnie opowiada historię. W 1985 roku, wyżej wspomniany *PIXAR*, pod nadzorem Dennisa Murren'a stworzył po raz pierwszy całkowicie komputerowo wygenerowaną i zaanimowaną postać 3d – rycerza z okna witrażowego, z filmu „*Młody Sherlock Holmes*” (1985). Nie dłużej niż 30 lat później, następcy wyżej wymienionych pionierów, tworzyli postać *Golluma* we „*Władcy Pierścieni: Dwie wieże*” (2002) i plemię *Na'Vi* z „*Avatara*” (2009).

Ogromny rozwój technologii komputerowej, szybkości i mocy przeliczeniowej, wydajności zapisu informacji umożliwił spreparowanie narzędzi, które pozwalały ingerować w strukturę wcześniej naświetlonego negatywu i tworzenie kolejnych kopii światłoczułych z naniesionymi już zmianami. Kreatorzy wizualnych i specjalnych efektów filmowych, wraz z pomocą najwybitniejszych inżynierów i naukowców używali przez lata całego swego potencjału i wyobraźni, by stworzyć powszechnie dostępne dziś narzędzia. W późnych latach 80 – tych, Kodak przy współpracy z ILM, stworzyli jeden z pierwszych skanerów taśmy filmowej, co doprowadziło do stworzenia formatu cyfrowego o nazwie *Cineon*, który stał się później standardowym, ogólnościatowym formatem umożliwiającym skanowanie i naświetlanie obrazu na taśmę filmową.

W roku 1988, publiczność po raz pierwszy mogła podziwiać efekt cyfrowego morfingu⁸ w filmie „*Willow*” (1988), a rok później – „*The Abyss*” (1989) Camerona zaskoczyła widzów kreacją istoty z wody. W 1991 roku w filmie „*Terminator 2 – Dzień sądu*” jedna z postaci – główny antagonista, *Terminator T – 1000*, mógł zmieniać swój kształt podszywając się pod inne osoby lub przedmioty będące bronią białą. Postać transformująca się widoczna w wielu scenach i łącząca się bezpośrednio z fizyczną postacią poszczególnych aktorów była całkowicie wygenerowana komputerowo. Rok później miała miejsce jedna z pierwszych cyfrowych replikacji żywych rozpoznawalnych istot, pingwinów i nietoperzy w filmie „*Batman Powraca*” (1992).

Te znaczące pozycje w historii kina nie miałyby takiej siły przekazu i nie przykułyby uwagi gdyby nie rozwój cyfrowej grafiki komputerowej. Rok 1993 przyniósł ze sobą „*Parę Jurajski*”, który udowodnił, że wizualne efekty specjalne, to narzędzie nowoczesne, wypierające stare techniki i dopełniające dotychczasowe budowanie dramaturgii obrazu. Twórcy filmu, na czele ze Stevenem Spielbergiem, planowali użycie technologii *stop – motion*, jednak po wielu próbach, ILM przedstawił próbkę animacji całkowicie wygenerowanych komputerowo dinozaurów, która wstrząsnęła reżyserem i ówczesnymi animatorami lalek. Zgodnie stwierdzili oni, że ich gatunek właśnie zaczął wymierać. Sformułowanie to zostało potem użyte przez Spielberga w jednej ze scen filmu.

Lata od roku 1993 przyniosły większy rozwój technologii wizualnych efektów specjalnych niż cały poprzedni wiek. Otworzyły się możliwości dla nieskrepowanej wyobraźni artystów, a zastępy inżynierów i naukowców, przesunęły granice materializowania fantazji osiągając pełnię filmowego realizmu. Ten rozwój obserwujemy do dziś i nie wygląda na to, żeby miał zwalniać. Era kopii optycznych, po prawie stu latach, skończyła się w przeciągu kilku chwil od momentu masowego użycia technologii cyfrowych. Era taśmy filmowej, na przestrzeni kilku lat ograniczyła się do wyjątkowych, wysokobudżetowych produkcji. Technologia animacji 3d udoskonala się z każdym dniem i zaprzęga do swoich potrzeb potęgę nauki i sztuki, będące motorem działań człowieka od zarania dziejów. Modelowanie, rigowanie, aplikacje do nadawania wirtualnym postaciom fizjologicznych atrybutów, symulacje fizyki, a przede wszystkim ogromny postęp w odtwarzaniu właściwości fotofizycznych światła i renderowanie, to narzędzia, które

⁸ pojęcie morfingu (z ang. *morphing*) oznacza w grafice komputerowej płynne przejście jednego obrazu w drugi, Słownik Języka Polskiego PWN, <https://sjp.pwn.pl/>.

w połączeniu są w stanie stworzyć obrazy niemożliwe do zarejestrowania tradycyjnymi metodami, tylko za pomocą kamery. Złożoność zastosowania tych nowych narzędzi wymaga jednak dużo większej niż kiedykolwiek świadomości technologii.

Gdy dostępna technologia opierała się na efektach fotochemicznych, specjaliści wiedzieli dokładnie co zrobić, by skończyć efekt. Ujęć nie można było zmieniać, a filmowcy musieli określić efekt na długo przed realizacją.

Ekipa techniczna musiała przygotować zatem konkretną liczbę elementów, bez możliwości ich zmiany, by „Sokół Millenium” mógł lecieć między asteroidami. Przeprowadzano wiele prób, które pozwalały ustalić najlepsze możliwe rozwiązania techniczne, oferujące najlepszy efekt ekranowy. Teraz, dzięki niesamowitemu rozwojowi większość efektów może być na bieżąco zmieniana, choć nierzadko z ogromnym wysiłkiem. Filmowcy nie muszą być definitywnie decyzyjni przed realizacją i zazwyczaj przeciągają moment decyzyjny do ostatniej chwili. Ostatnim momentem motywującym do zamknięcia projektu stał się termin premiery. Technologia zatem pozwoliła na dużo większą elastyczność w procesie twórczym. Wszystkie udoskonalenia i rozwój efektów wizualnych na przestrzeni ponad stu ostatnich lat wywarły jeden bardzo podstawowy wpływ: umożliwiły procesowi post – produkcji otwarcie możliwości kreatywnych, przelamujących wszelkie bariery.

Konkludując, efekty wizualne pozwalają filmowcom na zabranie widza w podróż w miejsca już nie istniejące lub nigdy nie istniejące. Przedstawiają rzeczy obecne tylko w naszej wyobraźni. Magia efektów pozwala nam wziąć udział w opowieściach, których akcja toczy się na innych planetach i biorą w niej udział bestie, anioły, demony, myślące maszyny, mówiące małpy i dinozaury ożywione nie z DNA komara uwięzionego w bursztynie miliony lat temu, ale przez kreatywny umysł artystów tworzących filmową iluzję.

To ważne, by kłaść nacisk na słowo „artysta”. Poprzednicy tacy jak Piero della Francesca, Leonardo da Vinci, Muybridge, Marek, czy Méliès rozwijali ówczesne narzędzia na swój sposób. Proces ten wygląda dziś bardzo podobnie – komputery to potężne narzędzie kreatywne, ale same nic nie tworzą. To oczy artyści, jego wyobraźnia i innowacyjne użycie nowych technologii pozwala na kreację świata znanego nam dzisiaj z gier, telewizji, sieci i w końcu kina. Obcowanie z tego rodzaju sztuką wzbogaca perspektywę patrzenia i niejako określa relacje naszego umysłu z przestrzenią

i wyobraźnią, ujawnia tęsknoty i zainteresowania. Poznanie tego narzędzia bez wątpienia wpływa na sposób opowiadania historii przez reżysera, dając nowe możliwości wpływania na warstwę emocjonalną widza.

Rozdział II – Opis wybranych elementów i procesów tworzących wirtualny, fotorealistyczny obraz

II. 1. Referencje

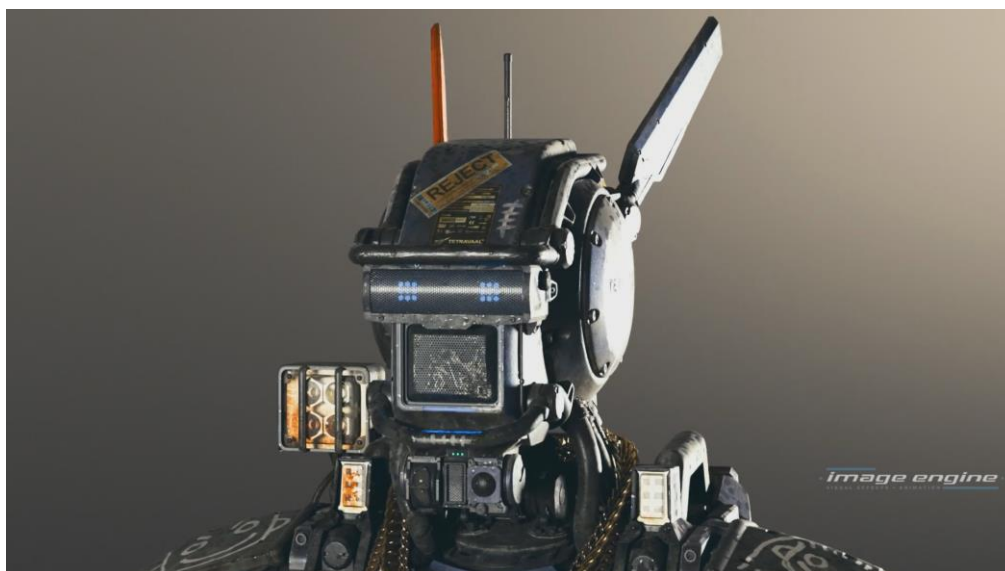
Tworzenie obrazu filmowego rozumiane jako proces budowania obrazu widzialnego z elementów niematerialnych, przy pomocy narzędzi cyfrowych, jest procesem czasochłonnym i skomplikowanym. Mowa tutaj przede wszystkim o kreowaniu obrazów, które realizmem dorównują materiałowi zarejestrowanemu kamerą. Moje doświadczenie z tworzeniem takich obrazów sięga już kilku lat, nieustannie odczuwam jednak niedosyt, a dziedzina mojego zainteresowania wciąż mnie zaskakuje i zmusza do kształcenia.

To, co w rzeczywistości widzimy w świecie realnym, tajemnica istnienia światła, ruch obiektów, charakterystyka danej materii i wiele innych, mogą być zarejestrowane i spłaszczone do obrazu 2D. Kreacja takiego obrazu od podstaw wymaga odwzorowania świata istniejącego wokół nas z uwzględnieniem wszelkich procesów w nim zachodzących. Im więcej uda się ich zgłębić i niejako „przepisać” na wirtualny odpowiednik, tym wierniejszy będzie efekt który ma być jednocześnie w pełni kontrolowalny, przynoszący olbrzymie możliwości kreacyjne. Zachowanie fal elektromagnetycznych widzialnego spektrum światła, indeksy refrakcyjne poszczególnych materiałów, symulatory zachowania fizycznych obiektów w przestrzeni z przyciąganiem ziemskim, geometria obiektów czy wszelkie zjawiska optyczne jak głębia ostrości, rozmycie ruchu, to nic innego jak wybrane zjawiska do symulowania. Nie jest to zadanie dla jednej czy kilku osób. Silniki renderujące, symulatory ruchu, systemy trakujące, instalacje skanujące i tysiące innych narzędzi to efekt pracy wielu wizjonerów, naukowców i artystów. Ich praca, wszystkie skomplikowane narzędzia, którymi się posługują, bazują na prawdziwym świecie. Jest zatem coś, czego nie można w tym procesie twórczym pominąć – rzetelna obserwacja. Musimy mieć bardzo dobre referencje i bardzo dużo cierpliwości do ich obserwowania. Reszta zależy już od wprawności oka i odpowiedniego użycia narzędzi, które z każdym dniem stają się doskonalsze.

Uczestnicząc w kursach online dotyczących obsługi silnika renderującego o nazwie

Vray, wielokrotnie byłem pod wrażeniem efektów bazujących na referencji, porównując je do renderów opartych tylko o wiedzę teoretyczną czy wręcz matematyczną.

Oglądając setki filmów przez ostatnie kilka lat, tylko w kilku miałem wątpliwość, czy patrzę na obiekt wygenerowany komputerowo czy zarejestrowany na planie „żywym”. Podam dwa przykłady. Pierwszym jest film z roku 2015 w reżyserii Neill'a Blomkamp'a pod tytułem „Chappie”. Głównym bohaterem filmu jest robot wyposażony w sztuczną inteligencję, żyjący w futurystycznym, brudnym świecie. Nie mamy tu zatem do czynienia z kilkoma efektowymi ujęciami, które można zawsze troszkę uprościć czy ukryć. Postać musi być nie tylko wiarygodna jeżeli chodzi o wygląd ale również o ruch i interakcję z prawdziwymi aktorami. Trudno też mówić o wyżej wspomnianych referencjach, mając na celu realistycznego robota, który w rzeczywistości nie istnieje.

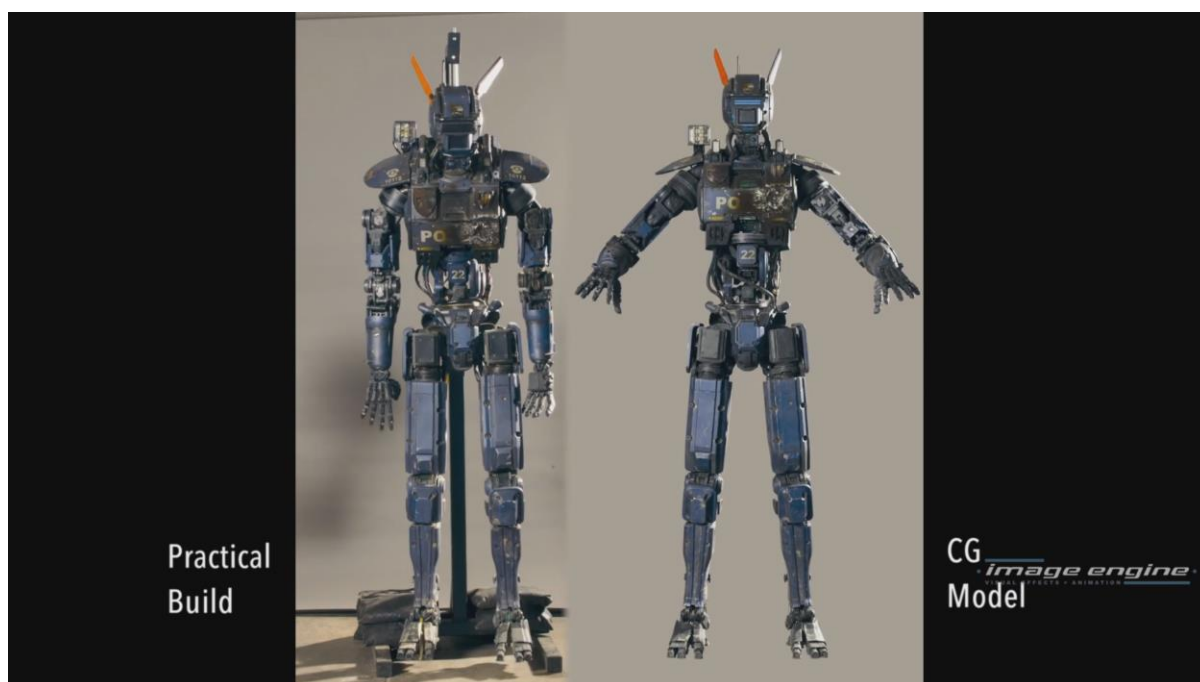


(źródło: Siggraph Production Session⁹ 2015 - Chappie Asset Development,
<https://vimeo.com/168122510> (dostęp: 10.01.2021)

Render poglądowy ukazujący skończony, gotowy do użycia model. Rendery wykonywane są z wykorzystaniem różnych ustawień światła, by sprawdzić zachowanie materiałów i wiarygodność efektu.

⁹ Siggraph Production Session – Coroczna konferencja poświęcona grafice komputerowej, organizowana przez ACM Siggraph od 1974 r.

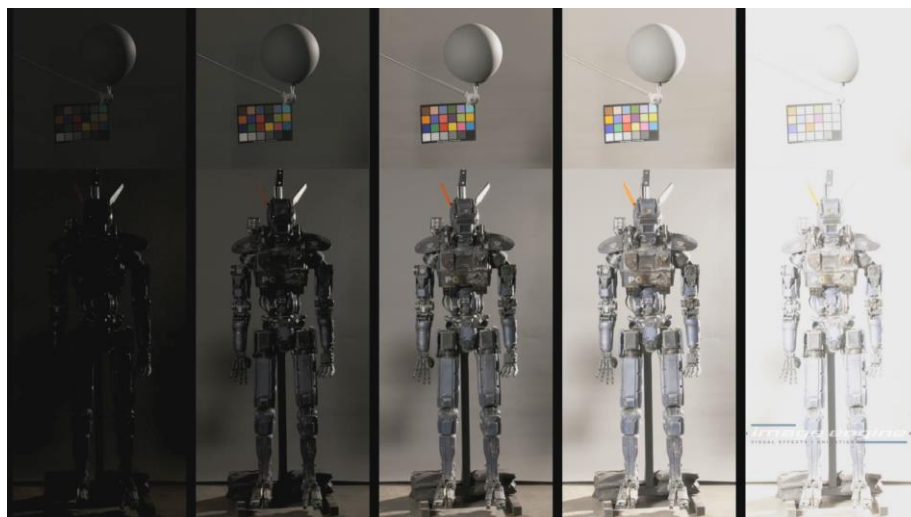
Proces tworzenia zaczął się oczywiście od konceptów. Po wielu miesiącach i zatwierdzeniu ostatecznej wersji wyglądu Chappie'go, postać została fizycznie, namacalnie zbudowana w skali 1:1 z dbałością o każdy detal, ślady eksploatacyjne i różne stadia zniszczenia. W ten oto sposób, ekipa Blomkamp'a zbudowała perfekcyjną referencję, która posłużyła do modelowania, budowania tekstur i materiałów zbliżonych maksymalnie do zbudowanego rekwizytu.



(źródło: Siggraph Production Session¹⁰ 2015 - Chappie Asset Development, <https://vimeo.com/168122510> (dostęp: 10.01.2021))

Po lewej robot zbudowany fizycznie na planie, po prawej cyfrowy odpowiednik.

¹⁰ Siggraph Production Session – Coroczna konferencja poświęcona grafice komputerowej, organizowana przez ACM Siggraph od 1974 r.



(źródło: Siggraph Production Session¹¹ 2015 - Chappie Asset Development,
<https://vimeo.com/168122510> (dostęp: 10.01.2021))

Model został sfotografowany wielokrotnie w różnych warunkach oświetleniowych, przy użyciu różnych poziomów ekspozycji, po to by móc zebrać maksymalną ilość danych o cieniach, wysokich tonach, odbijalności i fizycznym zachowaniu powierzchni i móc wcielić te dane do procesy odtwarzania rzeczywistości.

Kolejną referencją niezbędną do stworzenia Chappiego był ruch. Postać została zagrana przez aktora Sharlto Copley'a, ruch każdorazowo był traktowany i w ten sposób nasz robot zaczął poruszać się jak człowiek, jednocześnie odgrywając rolę. Traktowanie polega na zebraniu informacji dotyczących położenia konkretnego punktu w przestrzeni. Aktor ma w tym wypadku na sobie skafander zawierający szereg punktów będących potem analizowanych klatka po klatce względem położenia w przestrzeni. Odtwarzając te same punkty w środowisku wirtualnym, otrzymujemy wierną kopię ruchu poszczególnych punktów. Dane te przepisywane są na model 3d, który posiada własne wirtualne odpowiedniki punktów traktowanych wcześniej.

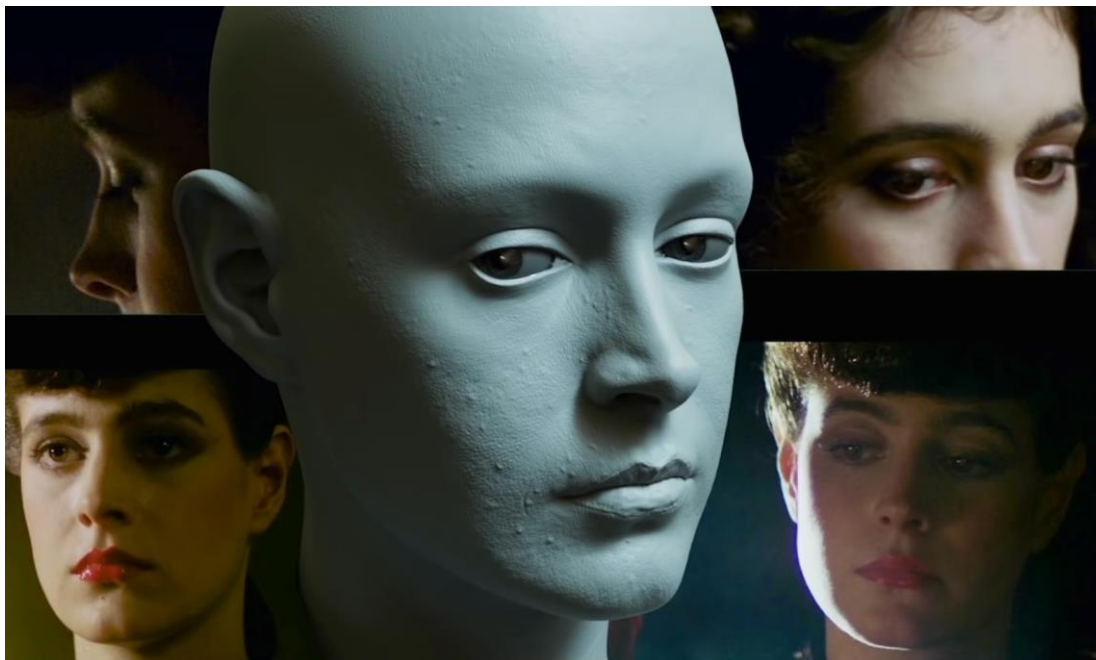
¹¹ Siggraph Production Session – Coroczna konferencja poświęcona grafice komputerowej, organizowana przez ACM Siggraph od 1974 r.



(źródło: Chappie - VFX Breakdown by Image Engine (2009), <https://youtu.be/0PKLQpMQW3Q> (dostęp 10.01.2021))

Po lewej Sharlto Copley wcielający się w rolę Chappie'go, widoczne trakery pomagające w zbieraniu informacji o ruchu, szary skafander wraz z atrapami geometrii pancerza jest referencją zachowania światła w scenie. Po prawej wirtualny zamiennik.

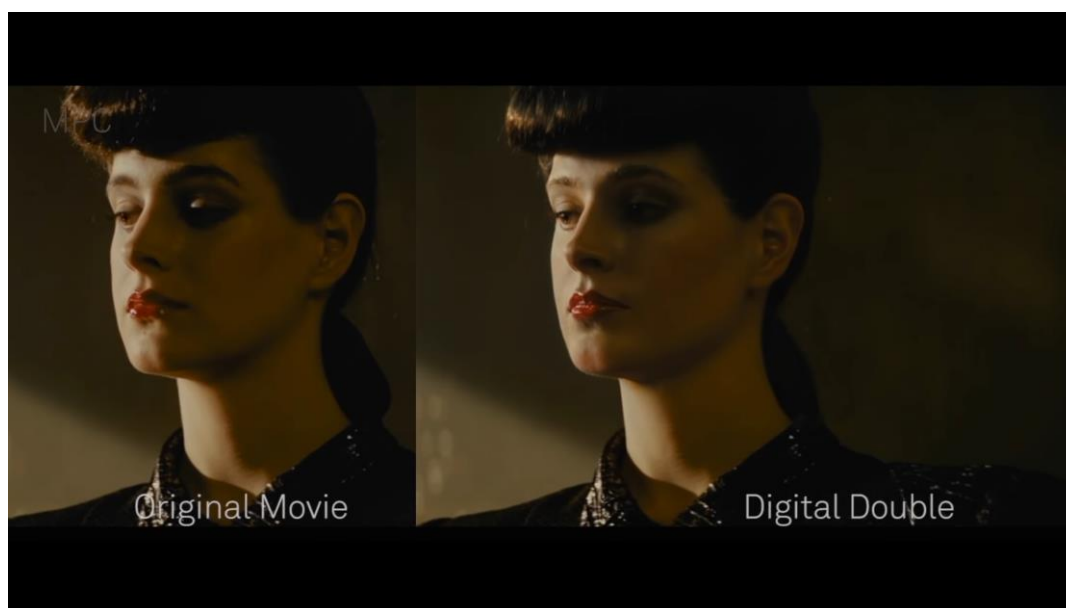
Drugim przykładem jest dla mnie film *Blade Runner 2049* z 2017 roku w reżyserii Denisa Villeneuve'a, stanowiący kontynuację *Łowcy androidów* z 1982 roku. Biorąc pod uwagę post – apokaliptyczny, futurystyczny świat, w którym rozgrywa się akcja, ujęć efektowych było na tyle dużo by rozdzielić prace postprodukcyjne między kilka domów takich jak MPC czy Framestore. Jednym z największych wyzwań CGI jest odtwarzanie istot żywych a w szczególności ludzi, ponieważ nasze oko jest do realizmu ludzkich twarzy i jej percepcji szczególnie przywiązane. W jednej ze scen, scenariusz założył wystąpienie postaci o imieniu Rachel zagranej w 1982 roku przez aktorkę Sean Young. Założeniem było wykorzystanie jej wizerunku właśnie z tamtych lat. Sama aktorka miała wtedy 23 lata, natomiast w czasie kręcenia kontynuacji już 58. Firma MPC podjęła się stworzenia wirtualnej Rachel na podstawie ujęć z poprzedniego *Blade Runnera* i zdjęć aktorki z młodości.



(źródło: Blade Runner 2049 - VFX Breakdown by MPC (2017), <https://youtu.be/nQcxEo5MUc8> (dostęp 10.01.2021))

Na środku białona bryła twarzy Rachel, wokół referencje z poprzedniego „Blade Runnera”

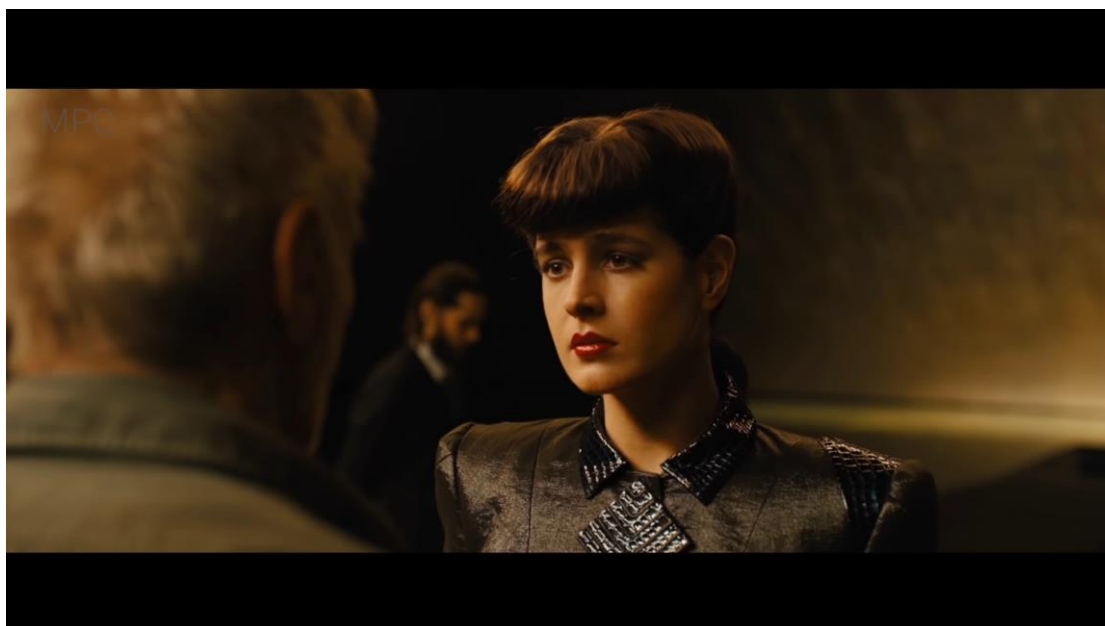
Dodatkowym utrudnieniem był fakt iż sam dokładny wizerunek nie wystarczał, gdyż Rachel miała też do odegrania dialogi i emocje wynikające z dramaturgii sceny. W tym celu posłużyła rejestracja gry twarzy wyselekcjonowanej pod względem proporcji i warunków aktorki, a także stworzenie biblioteki ekspresji twarzy Sean Young z 1982 roku.



(źródło: Blade Runner 2049 - VFX Breakdown by MPC (2017), <https://youtu.be/nQcxEo5MUc8> (dostęp 10.01.2021))

Porównanie oryginalnego ujęcia i z wykorzystaniem cyfrowej imitacji.

Gotowy efekt stwarza bardzo wierną imitację, wykorzystującą cały ówczesny potencjał i wiedzę twórców.



(źródło: Blade Runner 2049 - VFX Breakdown by MPC (2017), <https://youtu.be/nQcxEo5MUc8> dostęp: 10.01.2021))

Kadr z filmu „Blade Runne 2049”. Całkowicie wygenerowana komputerowo twarz Rachel.

W przypadku pracy nad moją własną krótką formą filmową, już na początku skupiłem się nad pracą z referencjami.

Samodzielnie wykonałem szereg próbnych renderów uczących samego procesu i cierpliwości.



(źródło referencji: obraz ze strony <https://hespokestyle.com/breitling-navitimer-history/> (dostęp 10.01.2021))

Po lewej zdjęcie zegarka Breitling Navitimer. Po prawej moja próba imitacji wirtualnej.

Stopniowo udało mi się też przeprowadzać próby imitacji obiektów organicznych, które są dużo bardziej skomplikowane i złożone.

Postęp technologiczny wzbudza ciekawość co do możliwości, które niesie ze sobą przyszłość. Myślę jednak, że zawsze, podobnie jak same filmy, efekty specjalne będą czerpać z tego co nas otacza i że mimo pewnego pejoratywnego zabarwienia słowa „imitacja” – staje się ona bardziej dziełem sztuki, im bardziej czerpie z prawdy, warunkiem jednak jest efekt stwarzający dzieło mające cechy oryginalności z której wynika nowa wartość.

II. 2. Modelowanie

Proces tworzenia wirtualnej rzeczywistości ma swój początek podczas tworzenia modeli 3d (cyfrowych). Jest to pierwszy etap będący bazą do dalszej kreacji. Jest fundamentem, od którego prawidłowości zależy powodzenie dalszych etapów technologicznych i formalnych. Tak jak przy budowie konstrukcji – jeżeli szkielet będzie zawierał błędy, wpłynie to na kolejne etapy pracy lub je uniemożliwi. Jeżeli model wykonany jest rzetelnie i solidnie, jeżeli jego siatka jest zaprojektowana odpowiednio, wówczas kolejne etapy, takie jak rigowanie czy teksturowanie będzie można przeprowadzić skuteczniej i szybciej.

Wyróżnia się cztery podgrupy modeli:

- Modele postaci (character modelling):

Modele te zazwyczaj będą musiały poruszać się w pewien sposób, część z nich można nazwać cyfrowymi aktorami. Od początku lat 90 – tych w kinie mamy coraz więcej przykładów użycia cyfrowych odpowiedników postaci, zarówno ludzkich, ale również wykreowanych według konceptów stworzeń, które w naturze nie występują. Do przykładowych postaci filmowych możemy zaliczyć: *Golluma* z sagi „*Władcy Pierścieni*”, *Thanosa* z „*Avengersów*”, czy tytułowego Avatara *Jake’a Sully’ego* z filmu Jamesa Camerona. Modelowanie postaci wymaga talentu rzeźbiarza i wiedzy anatomicznej. Oprogramowanie, które potrafi sprostać wymaganiom ogranicza się do programów takich jak: *Z-brush*, *Freeform3d*, *3d Coat* i *Mudbox*. Sam proces modelowania można tu porównać do rzeźbienia w glinie, artysta kształtuje bryłę używając odpowiednich narzędzi wirtualnych. Tak jak obraz 2d ma swoją rozdzielczość określaną w ilościach pikseli, tak model 3d ma swoją, określaną w ilościach poligonów. Wyżej wymienione programy potrafią obsługiwać w czasie rzeczywistym modele o ogromnej ilości poligonów, mowa tu o milionach. Wcześniej było to niemożliwe, a sam proces modelowania przypominał budowanie z klocków, jeden po drugim. W dzisiejszych czasach postacie 3d mają szkielet, system mięśniowy, tkanki i wreszcie dokładnie odwzorowaną skórę. Stworzenie imitacji żywej istoty, której widz powinien uwierzyć, to proces skomplikowany i wymagający ogromnej

pracy i doświadczenia. Do prezentacji praktycznej, udało mi się stworzyć kilka modeli organicznych płodu ludzkiego podczas kilku etapów rozwoju. Modele zostały stworzone w programie *Z-brush* (patrz s. 36 i Rozdział III).

- Modele propsów (*props modeling*):

Te modele nie poruszają się same z siebie, aczkolwiek wchodzi w interakcję z modelami postaci. Nie oznacza to, że nie muszą być *riggowane*, czy animowane – bynajmniej, jednak z pewnością w mniejszym stopniu niż same postaci. Mogą być zarówno miękkie (poduszka, pejcz), jak i mechaniczne (karabin maszynowy, mikser). Często są to przedmioty imitujące obiekty rzeczywiste występujące w scenie. W tej sytuacji, modelarz potrzebuje jak największej liczby referencji lub wręcz obiektu rzeczywistego, by móc go odtworzyć.

- Modele techniczne (*hard surface modeling/ technical modeling*):

W tę kategorię wpisać można wszelkiego rodzaju pojazdy, maszyny i inne elementy mechaniczne o różnym stopniu skomplikowania. Interesującym przykładem są tutaj postaci z filmu „*Transformers*”, które łączą modelowanie postaci z modelowaniem technicznym. Dwie pierwsze części pracy praktycznej opierają się na modelowaniu technicznym i zawierają model zegarka *Breitling Navitimer*, a także samochodu Audi Q8. W obydwu przypadkach modele zostały stworzone w programie *3dStudioMax* i przedstawione w krótkich formach reklamowych stworzonych specjalnie na potrzeby doktoratu.

- Modele środowiska (*environmental modeling*)

W pewnych przypadkach granica pomiędzy tłem a propsami¹² zaciera się, a scena wymaga stworzenia większości przestrzeni, w której rozgrywa się scena. Nie mówimy tu tylko o tworzeniu wnętrza, ale również zewnętrznego środowiska jak np. część ulicy

¹² Z ang. rekwizyty.

z budynkami, czy góry, skały i rośliny. Należy pamiętać, że zwłaszcza w warunkach domowych moc obliczeniowa komputerów jest ograniczona i nie będziemy w stanie renderować nieskończonej ilości obiektów, detali i wysokiej rozdzielczości tekstur. Bardzo ważna jest w tej sytuacji odpowiednia optymalizacja, polegająca na uproszczeniu obiektów znajdujących się daleko od kamery, tych poza ostrością i rozmytych w wyniku użycia danego kąta sektora. Mowa tu oczywiście o kamerze wirtualnej, nie fizycznej.

Tak jak przy budowaniu scenografii, makiet, czy środowisk i modeli wirtualnych należy pamiętać, że to co widzimy na ekranie powinno być wiarygodne, niekoniecznie prawdziwe. Maszyny, które nie miałyby prawa latać, często wyglądają bardziej spektakularnie niż prawdziwe konstrukcje. Spatynowane rurki PCV wyglądają na ekranie jak ciężki, brudny metal, tak samo odpowiednio przygotowany model 3d spełnia swoją funkcję i daje cały wachlarz nowych możliwości, mniej ograniczonych i często bardziej realistycznych niż technologie oparte na namacalnej rzeczywistości.

Tworzenie modeli

Jest kilka sposobów tworzenia wirtualnych elementów składających się na docelowy model 3d:

- rzeźbienie wirtualne tzw. „free form”,

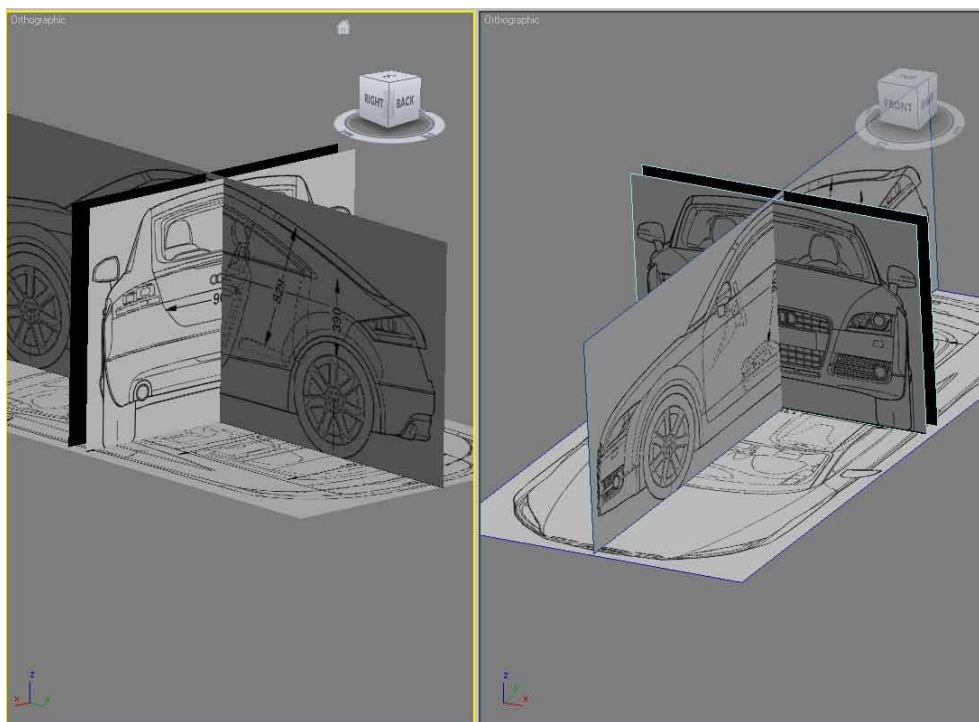
Freeform dotyczy wyżej wspomnianego modelowania postaci, ale nie tylko. Jest używane bardzo obszernie w fazie konceptów postaci. Modelarz pracujący tą metodą może pracować ściśle z reżyserem czy producentem i szybko tworzyć i przetwarzać koncepty, które stanowią bazę do modelu końcowego. Modele opierają się na woksela¹³, które można porównać do piksela 2d. W tym wypadku mają one oprócz dwóch podstawowych współrzędnych osi X i Y również trzecią – oś Z. Wokseli używa się głównie przy tomograficznych badaniach medycznych, gdyż zawierają one informacje na temat wewnętrznej struktury bryły. Ten sposób interpretowania bryły okazał się niezwykle pomocny przy modelowaniu brył. Daje on możliwość „rzeźbienia” w materiale,

¹³ wksel – najmniejszy element przestrzeni w grafice trójwymiarowej, w pewnym sensie odpowiednik piksela w grafice dwuwymiarowej.

kształtowania go jako bryły wypełnionej w środku i posiadającej swoją gęstość. Docelowo wewnątrz bryły jest zbędne przy renderach obiektów występujących w scenie, zatem woksellowy obiekt jest przepisywany na inny format, zachowujący informacje tylko o zewnętrznej powierzchni bryły, składającej się wówczas z wielokątów zwanych poligonami.

- modelowanie w oparciu o rzuty techniczne lub koncepty (referencje 2d),

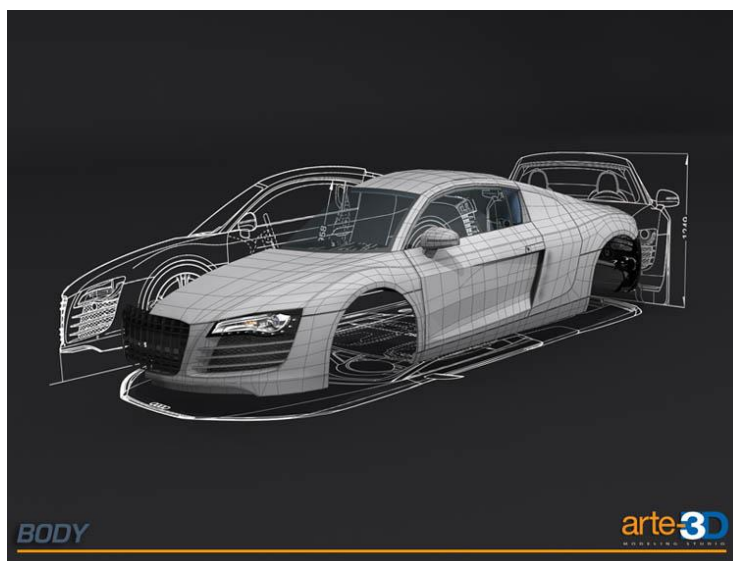
Modelowanie w oparciu o rzuty techniczne i inne referencje 2d, to klasyczne modelowanie poligonalne, polegające na tworzeniu zewnętrznego kształtu z pojedynczych wielokątów, których każdy wierzchołek ma trzy współrzędne. Płaskie rzuty ustawia się odpowiednio do osi odpowiedniej dla każdego z nich i na tej podstawie stopniowo, poligon po poligonie buduje bryłę 3d. Najpierw prymitywną, potem stopniowo coraz bardziej zagęszczoną. Zagęszczanie siatki nosi nazwę tesselacji¹⁴.



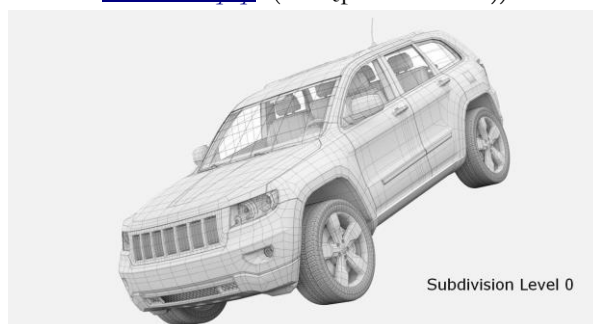
Widok interfejsu programu 3dsmax. Ustawione w przestrzeni cztery rzuty samochodu. Rzuty pochodzą z darmowej biblioteki drawingdatabase.com. (dostęp: 10.01.2021)

Widać jak wyglądają dwuwymiarowe obrazy w przestrzeni 3d. Na podstawie rzutów, można umiejscowić w przestrzeni poszczególne punkty siatki, stwarzając bryłę 3d.

¹⁴ proces tesselacji polega na podziale jednego poligona na kilka mniejszych, równych części.



(źródło: [Making of Audi R8 in Desert | free3DTutorials.com, http://www.free3dtutorials.com/making-of-audi-r8-in-desert.php](http://www.free3dtutorials.com/making-of-audi-r8-in-desert.php) (dostęp: 10.01.2021))



(źródło: [Generic SUV 3D Model \(renderhub.com\), https://www.renderhub.com/weeray/generic-suv](https://www.renderhub.com/weeray/generic-suv) (dostęp: 10.01.2021))

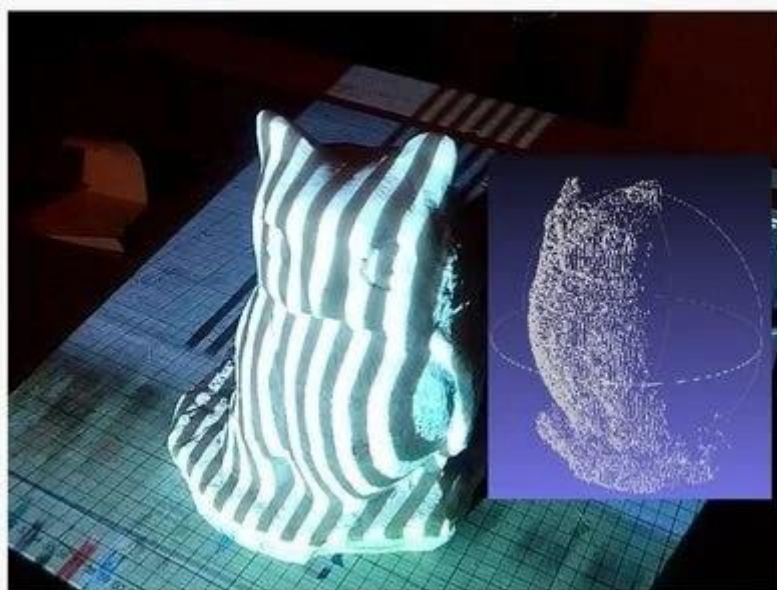
Inny gotowy model 3d. Ukazany różny poziom tesselacji. Trzy poziomy zagęszczenia siatki.

- skanowanie obiektów rzeczywistych

Modele zeskanowane wymagają istnienia pierwowzoru (obiektu skanowanego). Może to być obiekt różnych rozmiarów, od kapsla po budynek. Często zdarza się, że koncepty postaci lub maszyn budowane są w rzeczywistości i skanowane, by móc pracować na danym obiekcie cyfrowo. Podobnie w sytuacji, w której trzeba stworzyć cyfrowy odpowiednik aktora lub jego twarzy. Obiekty skanowane są za pomocą lasera, lub systemu fotograficznego.

Standardem skanowania są systemy laserowe. Skondensowana wiązka światła laserowego pada na obiekt i rejestruje kształt jego powierzchni, przepisując go na dane określające poligony modelu 3d. Najczęściej używane systemy skanujące opracowane zostały przez firmę *Cyberware*. Są też inne, takie jak *Gentle Giant*, *Icon Studio* czy *Nexus Digital Studios*. Technologia ta rozwija się zaskakująco szybko i na rynku można w przystępnych cenach kupić urządzenia bazujące na w/w systemach.

Skanowanie oparte na fotografiach, to bardziej intuicyjny sposób, wymagający mniejszej ilości sprzętu, czasu i konfiguracji niż rozbudowane systemy laserowe. Dane są niższej rozdzielczości jednakże prostota i szybkość mogą być tu zaletą. Większość tych systemów opiera się na projekcji światła nazwanego tu strukturalnym. Na obiekt fotografowany pada projekcja konkretnego wzoru światła. Są to np. wąskie czarno – białe paski. Aparat rejestruje deformacje wzoru na obiekcie, a odpowiednie oprogramowanie rekonstruuje jego kształt. Ograniczeniem jest tu rozdzielczość materiału, jednak za jakiś czas, problem ten zniknie.



(źródło: DIY 3D Scanner Based on Structured Light and Stereo Vision in Python Language : 6 Steps (with Pictures) – Instructables, https://www.google.pl/amp/s/www.instructables.com/DIY-3D-scanner-based-on-structured-light-and-stere/%3famp_page=true , (dostęp 11.10.2021))

Po lewej obiekt z rzutowanym światłem projekcji, po prawej model 3d zeskanowanej bryły.

Istnieje jeszcze pomiar za pomocą urządzenia o nazwie LIDAR¹⁵. Działa ono na podobnej zasadzie jak radar, ale nie wykorzystuje mikrofal, tylko widzialne światło lasera. Laser wysyła poprzez specjalny układ optyczny bardzo krótkie i dokładnie odmierzone, ale silne impulsy światła o konkretnej długości fali i w określonym kierunku. Światło to ulega po drodze rozproszeniu, które jest obserwowane za pomocą teleskopu, znajdującego się w tym samym urządzeniu, a następnie rejestrowane za pomocą czułego detektora – fotodiody lub fotopowielacza, a także kamer CCD i CMOS – który bada natężenie zaobserwowanego rozproszonego światła. Otrzymane dane są następnie analizowane komputerowo. LIDAR jest używany przy skanowaniu dużych obiektów np. całych budynków. Ograniczeniem jest tu dostęp do lokacji, z których system będzie miał odpowiednio dużo miejsca, by objąć zasięgiem cały duży obiekt. Im więcej punktów, z których LIDAR będzie mógł pobrać dane, tym dokładniejszy i bardziej kompletny skan. Dane których nie uda się zebrać, trzeba będzie uzupełnić tradycyjnym modelowaniem, ważne więc jest zebranie odpowiedniej dokumentacji.

¹⁵ nazwa LIDAR to skrót angielskiej nazwy Light Detector and Ranging.



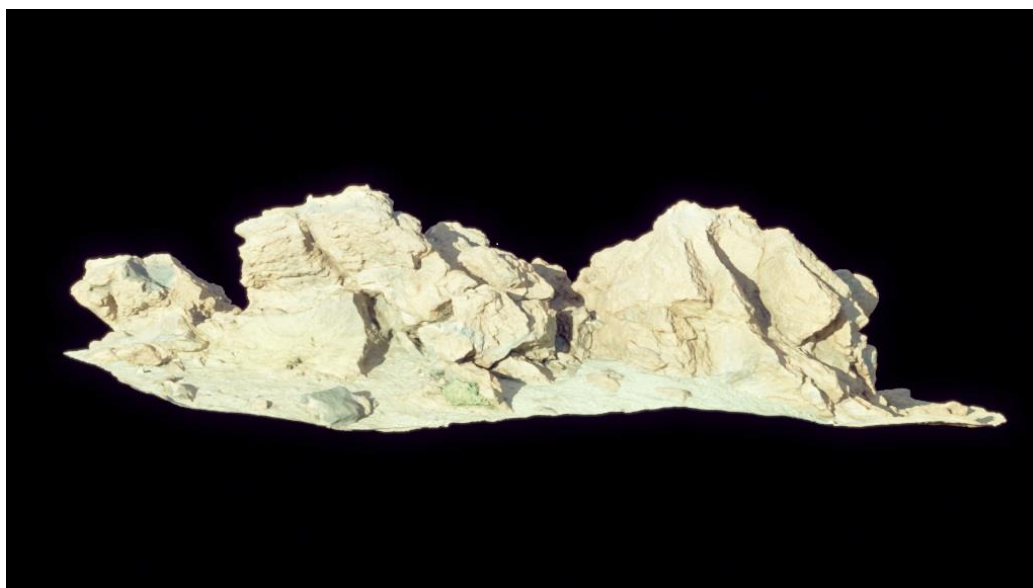
*(źródło: Jeffrey A. Okun, Susan Zverman, The VES Handbook of Visual Effects Society, Industry Standard VFX Practices and Procedures, 2010 Visual Effects Society, Published by Elsevier Inc., s. 598.)
Bryła modelu 3d powstała w wyniku skanowania jednej z kamienic Nowego Jorku.*

Jedną z praktycznych części pokazu mojej pracy zakładała użycie elementów zeskanowanych. Była to postać kierowcy użyta w reklamie Audi Q8, a także elementy krajobrazu w postaci kompleksów skalnych i małych kamieni. Skany były uzupełnione w zestaw tekstur i przygotowane tak, by zagęszczenie poligonów nadal pozwalało na render w domowych warunkach.



Model został przygotowany przez zespół RENDERPEOPLE.

Render wykonany dla celów pracy doktorskiej.



Przykład wykonanego przeze mnie próbnego renderu kompleksów skalnych użytych w reklamie.

Materiał uzyskany ze skanowania nie jest gotowy do dalszej pracy. Oprócz braków i uproszczeń będących częścią procesu, głównym problemem jest topografia siatki modelu. Jak już wspominałem wcześniej, kształt modelu zbudowany jest z siatki poligonów. Ma ona swoją strukturę i ciągłość krawędzi, która umożliwia potem teksturowanie, riggowanie i animacje. Siatka, którą otrzymujemy bezpośrednio po skanowaniu kompletnie się do tego nie nadaje. Model wymaga tzw. retopologizacji¹⁶.

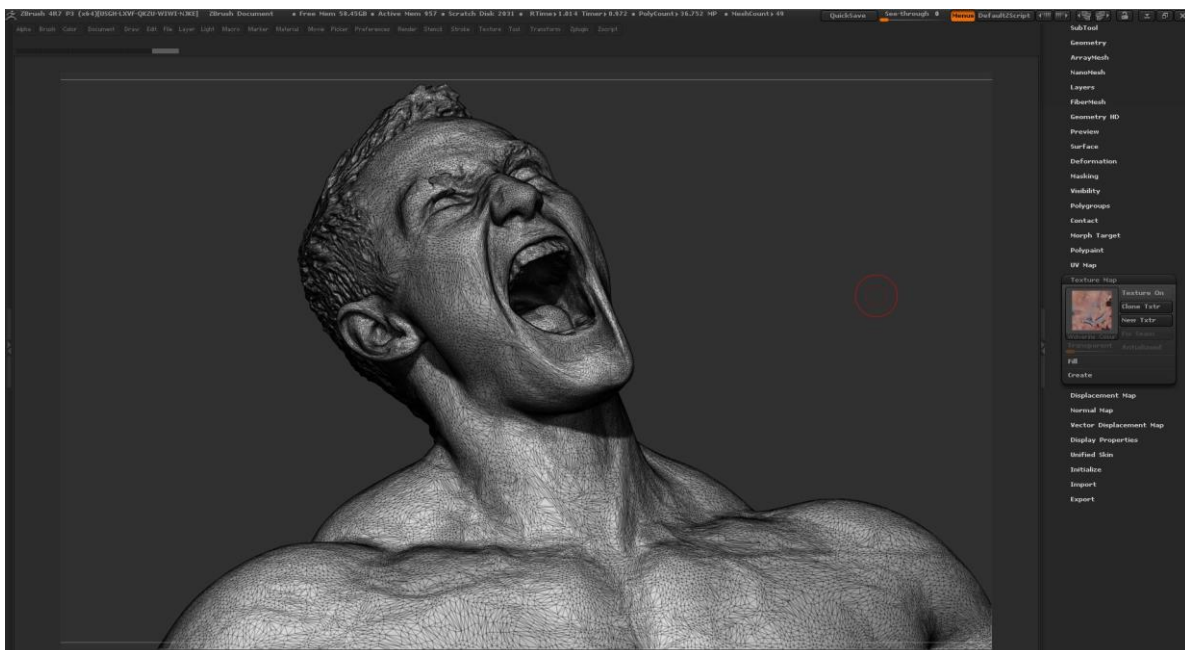
¹⁶ Tworzenie optymalnej topologii siatki modelu.

Przyjrzyjmy się temu na przykładzie skanu postaci mężczyzny.

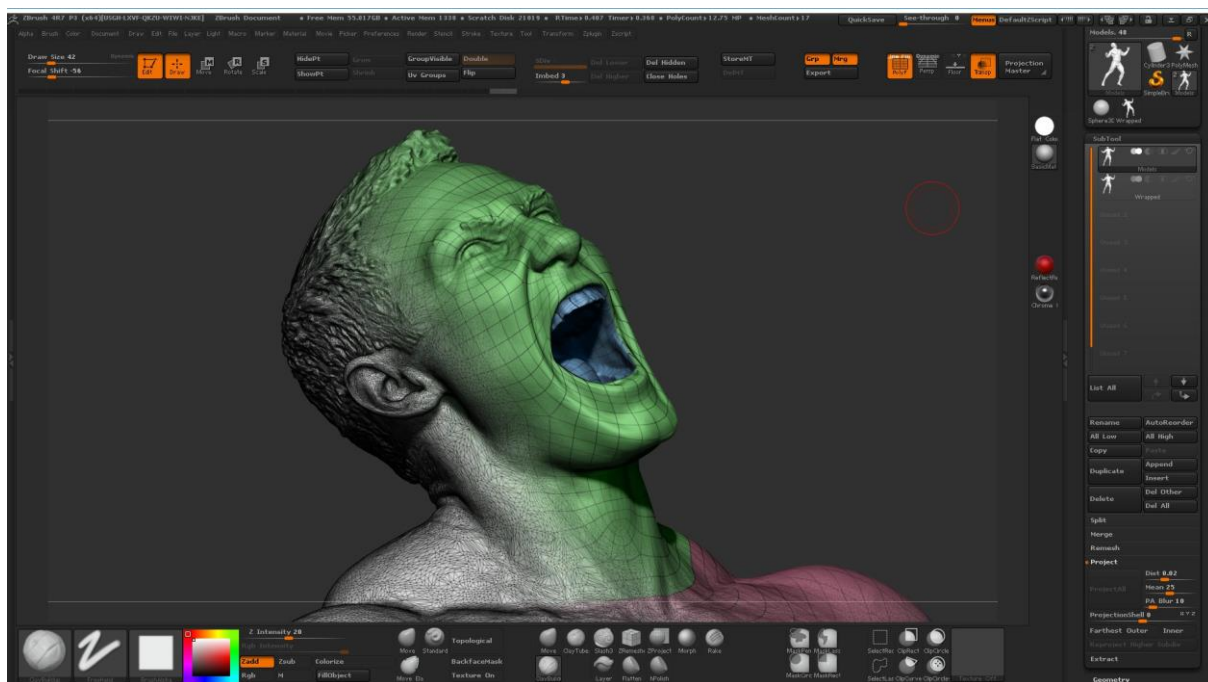
Źródłem poniższych obrazów jest strona Retopologising 3D Scans with Wrap 3 (3dscanstore.com), https://www.3dscanstore.com/blog/retopologising-3dscan-wrap3?fbclid=IwAR2MmCqEsN_ObVIAwTol0TESWW3VPaY1J-xjRwgHof93vFD4uu3IoJTU9K4 (dostęp 10.01.2021).

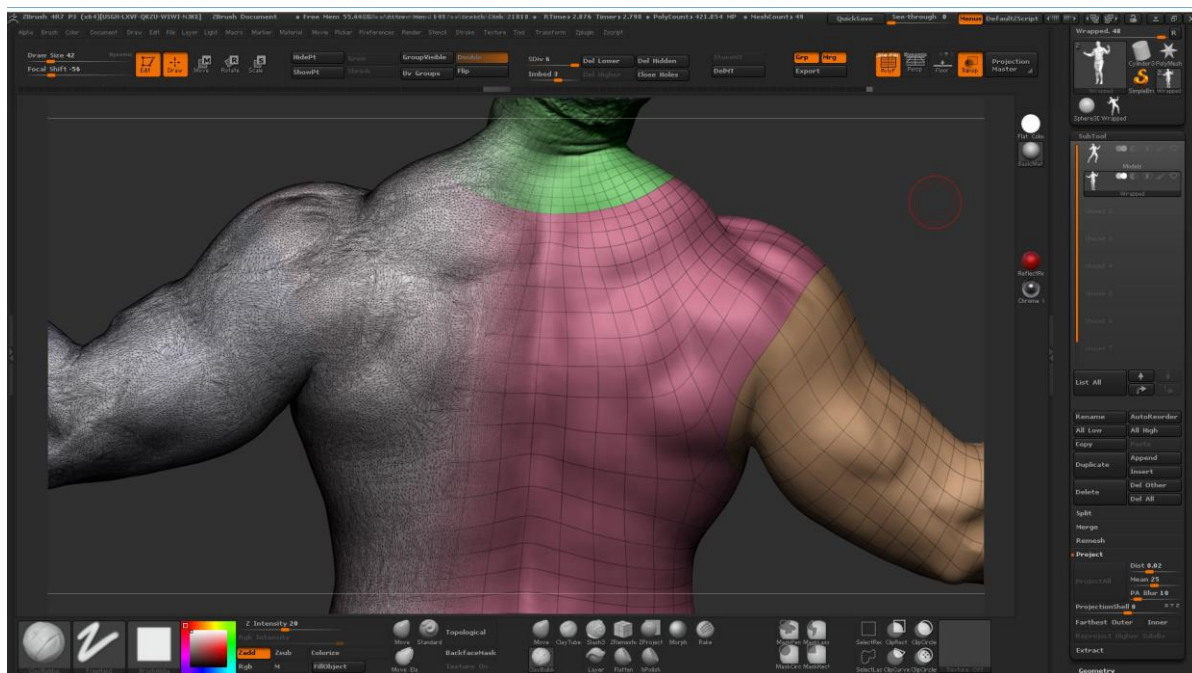


Powyżej wstępnie oczyszczony skan mężczyzny bez tekstur.



Jak widać powyżej, struktura siatki jest nieregularna i chaotyczna, jednocześnie bardzo złożona.





W strefie kolorów widzimy tutaj zretopologizowaną siatkę modelu pogrupowanego i przygotowanego do dalszej pracy.

Program, w którym przeprowadzono retopologizację nosi nazwę Z-brush.

W dwóch pierwszych częściach praktycznych mojej pracy, modele były wykonywane poligonalnie w programie 3dStudioMax.



Na górze model zegarka Breitling Navitimer z widoczną siatką, na dole ta sama klatka po renderze.



Na górze szare bryły obiektów ze sceny wirtualnej, na dole kolejna klatka po już po renderze.

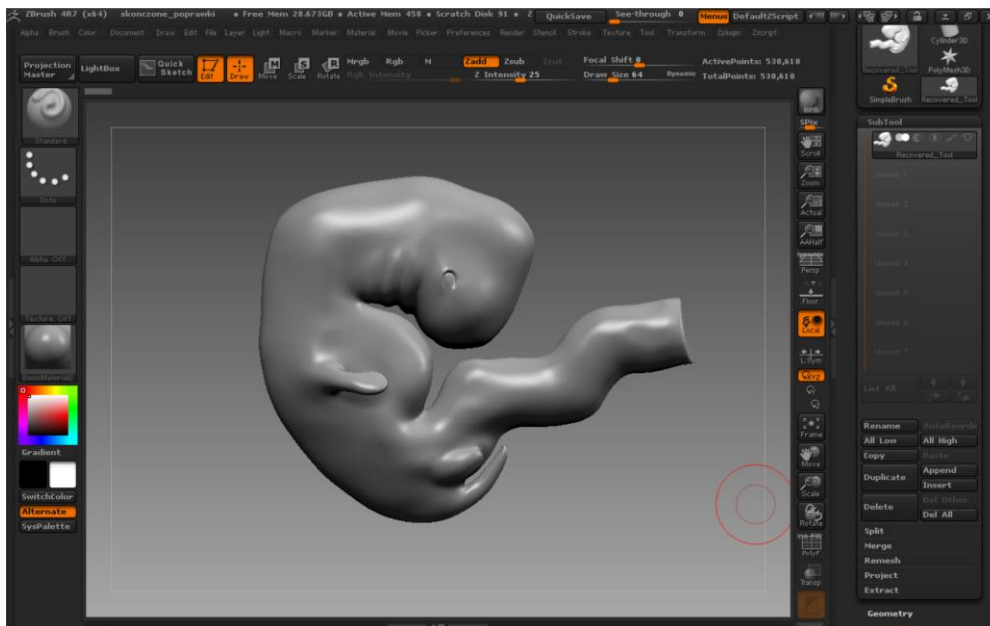
Dwa powyższe przykłady modeli można zaliczyć do obiektów technicznych, mających określone wymiary, matematycznie określoną bryłę i rzeczywiste referencje. Sytuacja zmienia się w momencie gdy mamy do czynienia z obiektami organicznymi.

By uzyskać realistyczne ujęcia płodu ludzkiego podczas różnych etapów rozwoju pokusiłem się o próbę modelowania w wyżej wspomnianym programie *Z-brush*. Nauka programu od zera wymaga poświęcenia wielu dni i tygodni by móc osiągać pożądane efekty. Konstrukcja programu pozwala na „rzeźbienie” modeli o bardzo dużej ilości poligonów (nawet ponad 40 milionów) używanych potem przy filmach, grach, prezentacjach. Korzysta z niego ILM, *Weta Digital*, *Epic Games* czy *Electronic arts*. Niezwykłym osiągnięciem jest fakt, że jego możliwości są nadal dostępne nawet przy użyciu domowego komputera.

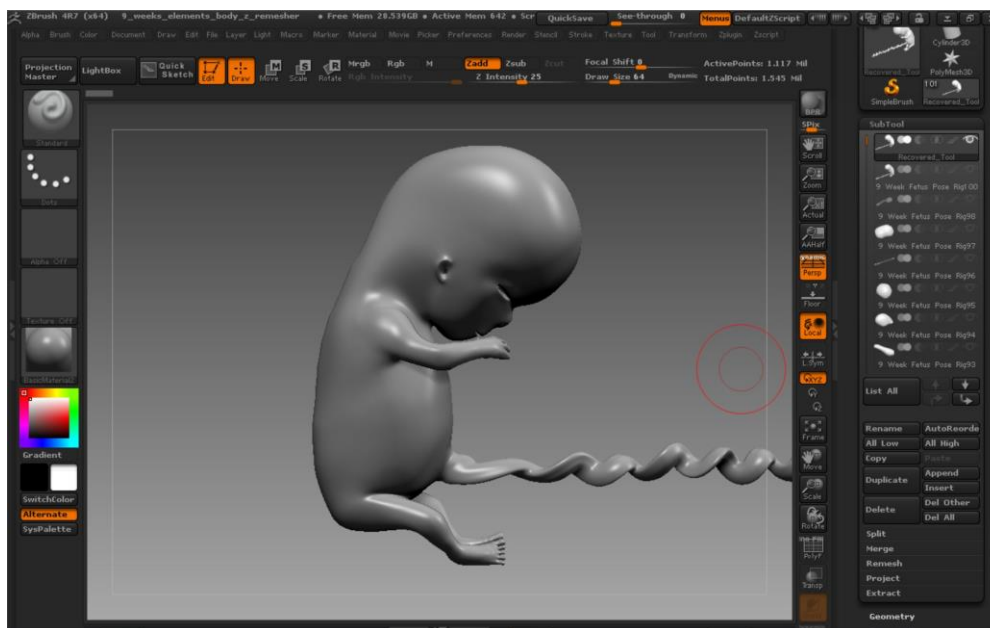
Udało mi się wykonać pięć modeli zarodka na różnym etapie ciąży oraz model nici DNA. Oparłem się tutaj o dokumentację medyczną, tak by modele były odtworzone jak najbliżej rzeczywistości¹⁷. Model nici DNA przyjął formę bardziej umowną ze względu na to, że rzeczywista forma DNA jest mało rozpoznawalna.

¹⁷ H. Bartel, *Embriologia, Podręcznik dla studentów*, PZWL Wydawnictwo Lekarskie, Wydanie V, Warszawa 1999.

Oto kilka screenów z obrazem niektórych modeli:



zarodek w 5 tygodniu rozwoju



zarodek w 9 tygodniu rozwoju



zarodek w 19 tygodniu rozwoju

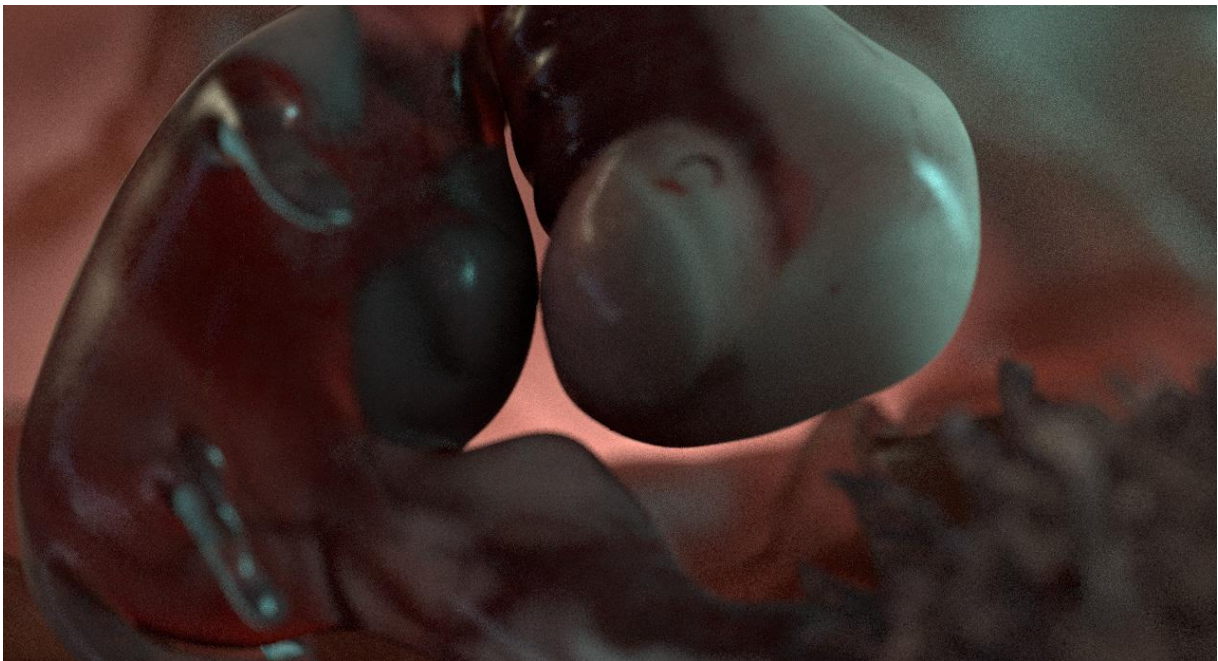


detale nosa i ust

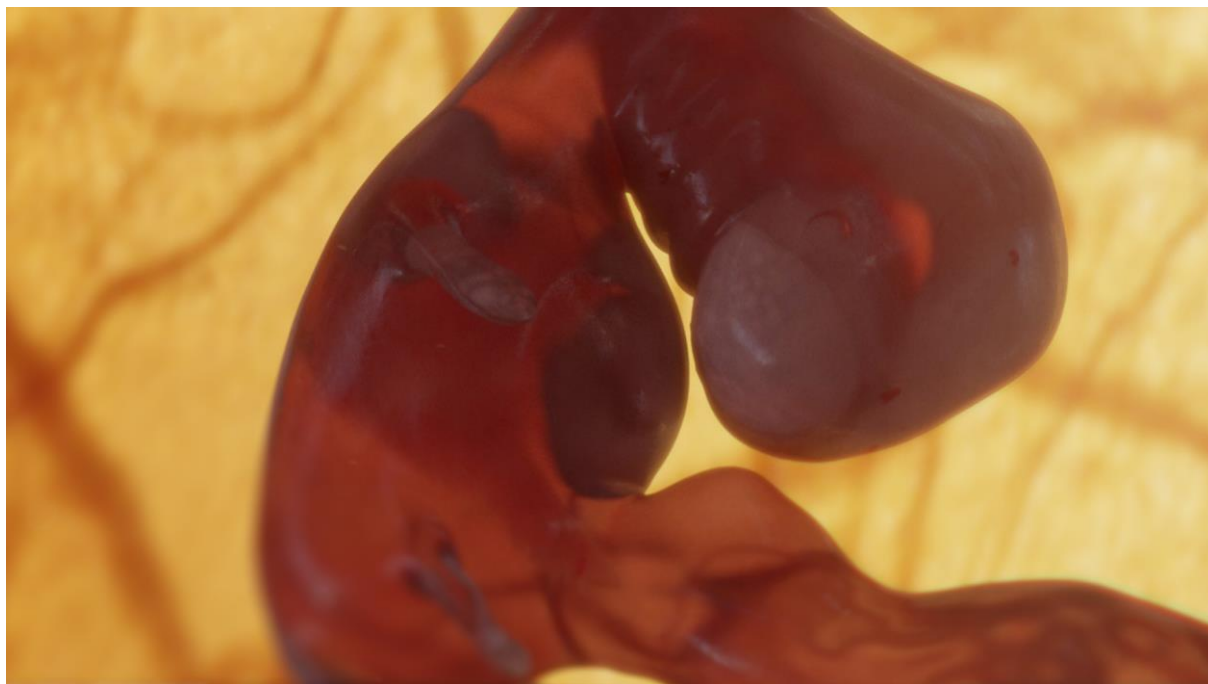
Efekty pierwszych próby renderów nie były dla mnie wystarczająco satysfakcjonujące.



Render testony modelu 19-to tygodniowego



Render testony modelu 5-cio tygodniowego, zastosowane inne oświetlenie



Render sprawdzający sbadery półprzezroczystych tkanek

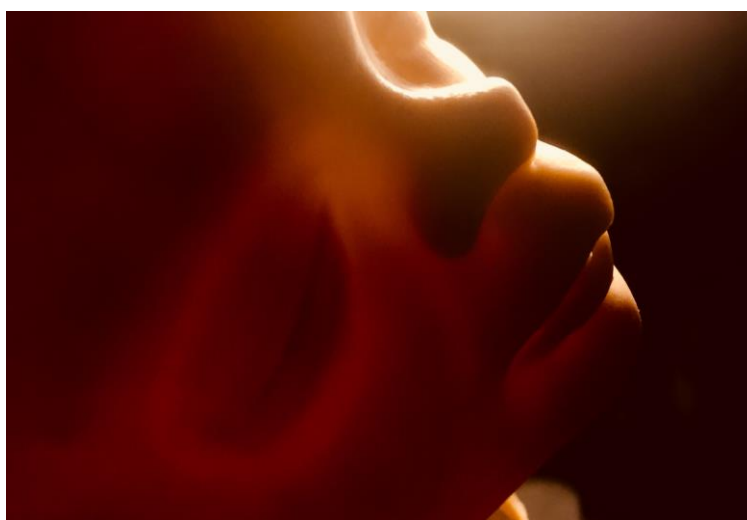


Render próbny nici DNA

Rendery próbne dały mi do myślenia. Byłem zadowolony z detali i wyglądu mniejszych płodów, ilość ich elementów w połączeniu z ukrywaniem przez płytką głębię ostrości i imitację optyki makro, a także małe wymagania ruchu samego obiektu

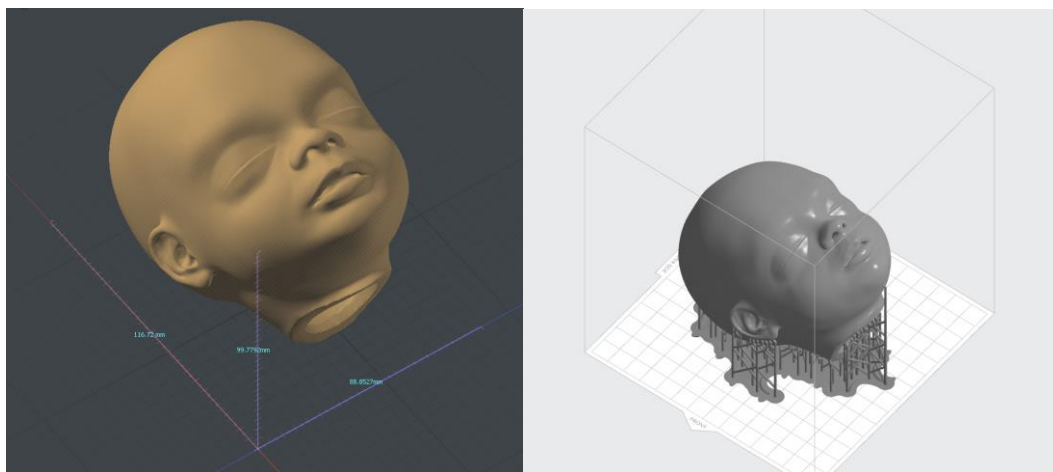
pozwalają na wiarygodną imitację. Problem zaczynał się przy większych, bardziej złożonych organizmach. Referencje ruchu badań USG prawdziwych płodów ukazywały złożony ruch. Można tam obserwować wykształcone kończyny, a także skórę, mięśnie, włosy. Jak ukazać to zatem w łonie matki?

Idąc tym tropem, postanowiłem modele stworzone wcześniej w *Z-brushu* „wydostać” do świata realnego. Części modelu zostały wydrukowane na drukarce 3d. Tak uzyskane matryce posłużyły do stworzenia formy i potem żywicznych i lateksowych odlewów, które potem zarejestrowałem pod wodą, w akwarium.



Pierwszą fotografią lateksowego odlewu głowy wydrukowanej na drukarce 3d.

Model 3d stworzony w *Z-brushu* został przepisany na odpowiedni format i zwymiarowany pod możliwości drukarki 3d.



Podgląd bryły modelu i następne określenie wymiarów. Po prawej, określenie punktów przyczepu tworzywa do podstawy.

Drukarka ma oczywiście swój zakres przestrzeni działania, dlatego właśnie model musi być odpowiednio zwymiarowany. Przyczepy modelu należy usunąć i wyszlifować powierzchnie przed odlaniem formy.



Wydruk modelu mojego autorstwa, pierwszy raz jako namacalny obiekt przestrzenny.

Do samej rejestracji przy użyciu kamery użytych było kilka modeli. Korpus, głowa, rączki, nóżki. Tylna ściana akwarium obłożona była matami żelatynowymi przypominającymi tkanki ludzkie, oświetlenie składało się z dwóch lamp dedolight o różnych temperaturach barwowych. Całość można było wprawiać w ruch, a ogólne wrażenie jest spójne z moim wcześniejszym wyobrażeniem ujęć i znacznie bardziej realistyczne w odbiorze niż pierwszy render.



Werki z planu.

Na zdjęciu z lewej posługuje się kamerą ARRI alexa XT i obiektywem OPTEX. Zdjęcie z prawej przedstawia akwarium z lateksowymi matami imitującymi tkanki.



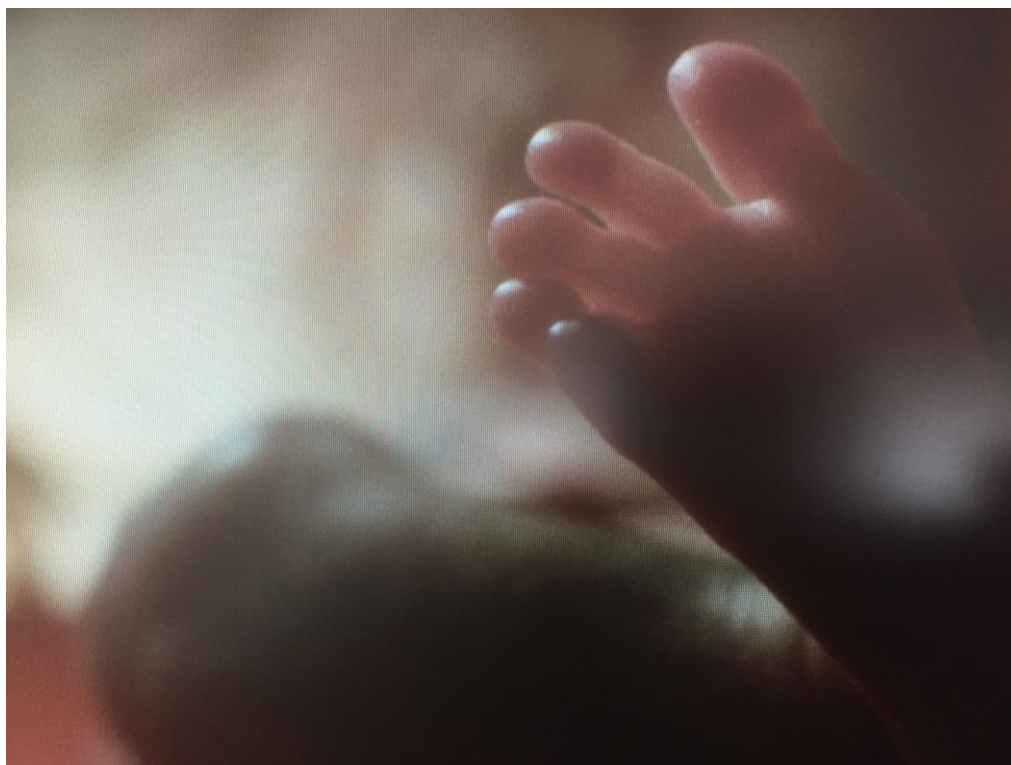
Klatki z materiału zarejestrowanego kamerą

Jeden z ostatnich etapów okresu płodowego w filmie zdecydowałem ukazać rejestrując prawdziwe dziecko 23 – tygodniowe. Uzyskałem zgodę Instytutu Centrum Zdrowia Matki Polki na realizację zdjęć na Oddziale Intensywnej Terapii Neonatologii w Łodzi. Zdjęcia realizowane były za zgodą dyrektora szpitala i pod nadzorem personelu medycznego. Uzyskałem pisemne zgody kierownictwa oddziału jak i rodziców wówczas 24 – tygodniowej Julii, ważącej 530 gramów.



Zdjęcia realizowałem przy użyciu obiektywu OPTEX wprowadzonym do wnętrza inkubatora.





Klatki z zarejestrowanego materiału

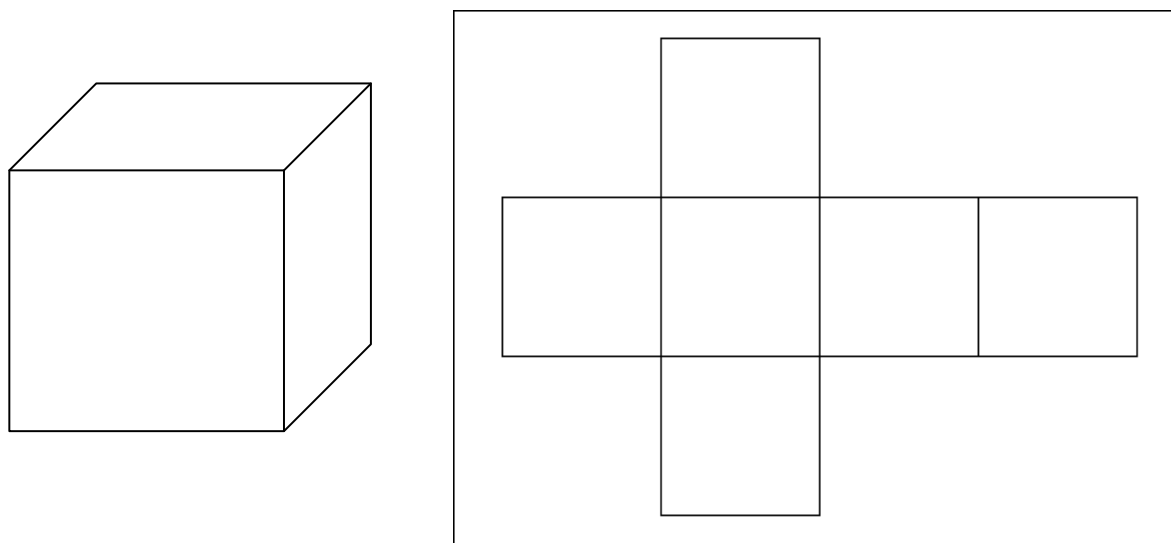
Jest to niesamowite jak mały potrafi być ludzki organizm, a jednocześnie jak bardzo złożony. Obserwacja go z bliska była dla mnie głębokim mistycznym przeżyciem. Staralem się stylizować ujęcia na wnętrze macicy. Inkubator został oklejony wcześniej odkażonymi matami żelatynowymi, prześcieradelko wymieniono na czerwone, zdjęto też pieluszkę. Wszystkie działania były pod nadzorem personelu medycznego przy użyciu minimalnego światła i w maksymalnie sterylnych warunkach. Julka dzisiaj jest wspaniałym zdrowym dzieckiem.

II. 3. Teksturowanie

Gdy mamy już gotowy model, będący podstawową bryłą przestrzenną, czas nadać jej powierzchni ostateczny wygląd. Przedmioty w rzeczywistości mają swój kolor, fakturę, sposób odbijania światła i mnóstwo drobnych detali. Wszystkie te i wiele innych cech możemy osiągnąć za pomocą tekstur odpowiednio wcześniej przygotowanych i mających szereg cech, z których każde odpowiadają za inny czynnik.

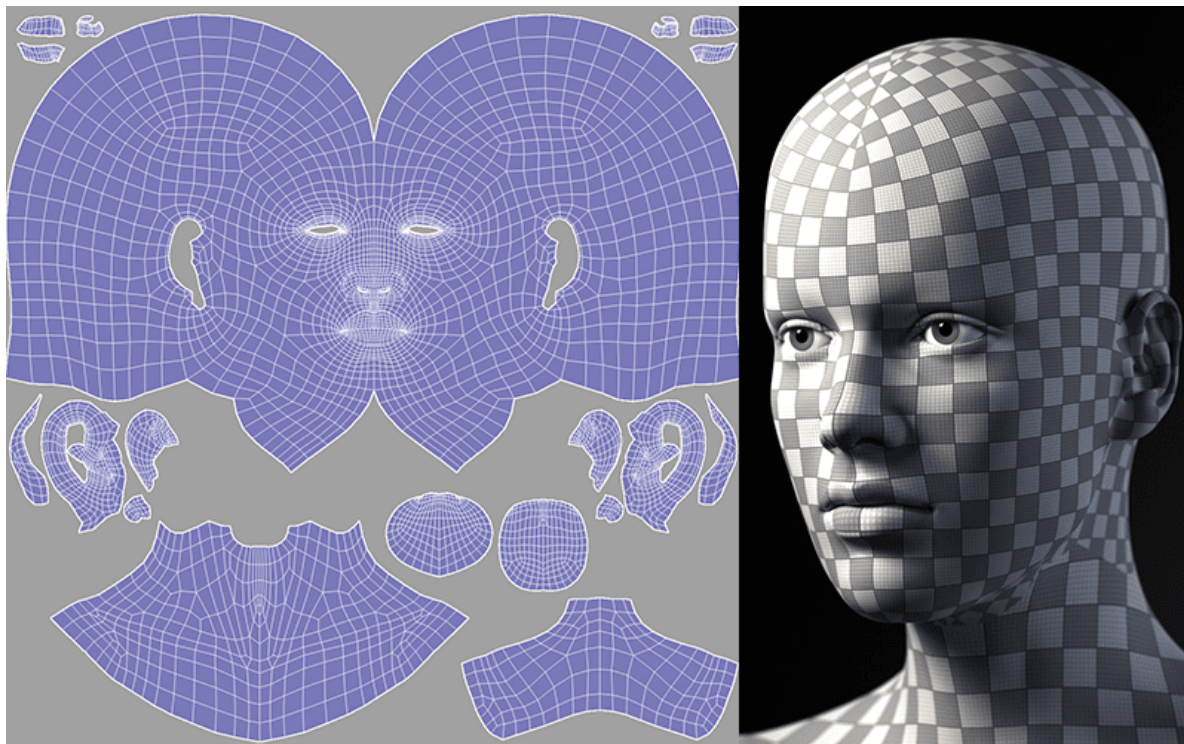
Pierwszym etapem teksturowania modelu 3d jest jego odpowiednie przygotowanie. Wspominałem wcześniej o shaderach stanowiących materiał zaaplikowany na model 3d. Tekstury wchodzą w ich skład i to w dużej mierze dzięki nim, jesteśmy w stanie stworzyć fotorealistyczną iluzję. Tekstury mogą być malowane bezpośrednio na modelu, rzutowane na model w formie obrazu fotografowanego lub w dowolny sposób przetworzonego, dowolność manipulowania samą teksturą jest tak szeroka, jak możliwości tworzenia zwykłego obrazu 2d. By móc jednak nałożyć je na bryłę 3d, program komputerowy musi wiedzieć jak to zrobić.

Potrzebna jest mu mapa. Sposób nakładania tekstuury na bryłę jest nazywany mapowaniem. Jeden ze sposobów wymaga stworzenia koordynatów UV. Spróbujmy wyobrazić sobie sześcian w formie bryły przestrzennej, a potem ten sam sześcian rozłożony na płaskiej powierzchni. Efekt byłby mniej więcej taki:



Po lewej sześcian jako bryła, po prawej płaska reprezentacja siatki sześcianu

Koordynaty UV to nic innego jak przyporządkowanie poszczególnych krawędzi i punktów tekstury do wierzchołków i krawędzi poligonów bryły. Definiują one więc położenie poszczególnych części płaskiego obrazu na przestrzenną bryłę, a także rozdzielczość tekstury na danej części modelu. Poniżej trochę bardziej skomplikowany przykład.



(źródło: UV Mapping (vectary.com), <https://www.vectary.com/docs/uv-mapping/> (dostęp: 10.01.2021))

Po lewej płaska reprezentacja elementów twarzy i głowy, po prawej model głowy z nałożoną teksturą szaro-białej szachownicy.

Mapowanie UV to nie jedyny sposób przyporządkowywania tekstury do bryły, jednakże najczęściej używany i dający największą kontrolę. Tworzenie koordynatów UV nie jest łatwym procesem, ręcznie zajmuje to wiele czasu, jednak wiele nowych programów wyposażonych jest w nowe narzędzia do automatycznego rozciągania siatki i tworzenia koordynatów UV i są one coraz bardziej efektywne.

Przy mapowaniu prostych brył można wspomóc się domyślnymi sposobami mapowania, które w określony sposób zawijają teksturę wokół bryły. Mamy tu mapowanie np. planarne, cylindryczne, sferyczne¹⁸. Tworząc obiekty proste, znajdujące się poza

¹⁸ Podstawowe rodzaje mapowania dostępne w programach do obsługi środowiska 3d takich jak 3dStudioMax.

ostrością lub w odległym planie, warto przyspieszyć sobie pracę, używając właśnie powyższych, prymitywniejszych narzędzi

Mapowanie i teksturowanie ściśle związane jest z ilością detali potrzebnych w konkretnych ujęciach. Renderując samolot, widoczny z oddali na niebie, nie będziemy tworzyć wysokiej rozdzielczości tekstur obciążających proces renderowania. Jednak przy detalach, niezłożone tekstury o małej rozdzielczości, natychmiast przykują uwagę widza sztucznością. Przy zaawansowanej postprodukcji, niezwykle ważne jest szczegółowe zaplanowanie ujęć i przygotowanie planu zdjęciowego w odpowiedni sposób.

- Tekstura fotografowana ze źródła

Kiedy mamy do czynienia z obiektem, który imitujemy i mamy dostęp do prawdziwego obiektu, tekstury tworzone będą z fotografii. W takim wypadku zadbać należy o to, by były one oświetlone najbardziej płasko jak to możliwe, tak, by uzyskany materiał łatwo „wyczyścić”. W przypadku napisów lub wzorów, warto je odtworzyć wektorowo lub zebrać możliwe do powielenia/zapętlania próbki wysokiej jakości. Nieczęsto zdarza się, by tekstura była namalowana od zera, możliwe jest to bardziej przy filmach animowanych, zazwyczaj jednak, osiąganie pożądaných efektów polega na odpowiednim połączeniu fotografii, ingerencji w ich strukturę i łączeniu wyselekcjonowanych elementów. Wyobraźmy sobie malowanie tekstury istoty, której nie ma w rzeczywistości, np. dinozaura. W tym wypadku tworzenie tekstury poszczególnych elementów ciała będzie polegało na miksowaniu fotografii skóry aligatora, węża, legwana, czy innych stworzeń istniejących w naturze. Dobrze stworzone tekstury to klucz do fotorealizmu, nawet gdy mamy do czynienia z prymitywnym modelem, lub detalem, którego nie oplaca się odtwarzać w geometrii, np. krostki, zmarszczki, rysy, pory i drobne uszkodzenia.

Przy tworzeniu shadera używać będziemy więc wielu tekstur. Każda z nich będzie odpowiedzialna za coś innego. Nazewnictwo struktur i ich ilość zależy w dużej mierze od silnika renderującego i jego sposobu przeliczania shaderów.

Poniżej wymieniam kilka grup klasyfikacji tekstur (będę używał nazw angielskich, bo w tej formie zazwyczaj się ich używa – niezależnie od kraju):

-
- *color maps*
 - *diffuse maps*
 - *albedo maps*
 - *detail maps*

Jest to tekstura określająca bazowy kolor modelu.

- *transparency maps*
- *opacity maps*

Tekstura określająca przezroczystość lub miejsca które mają być wycięte z powierzchni, np. źdźbła trawy, okna w oddali.

- *bump maps*
- *bump maps*
- *normal maps*
- *displacement maps*
- *height maps*
- *cavity map*

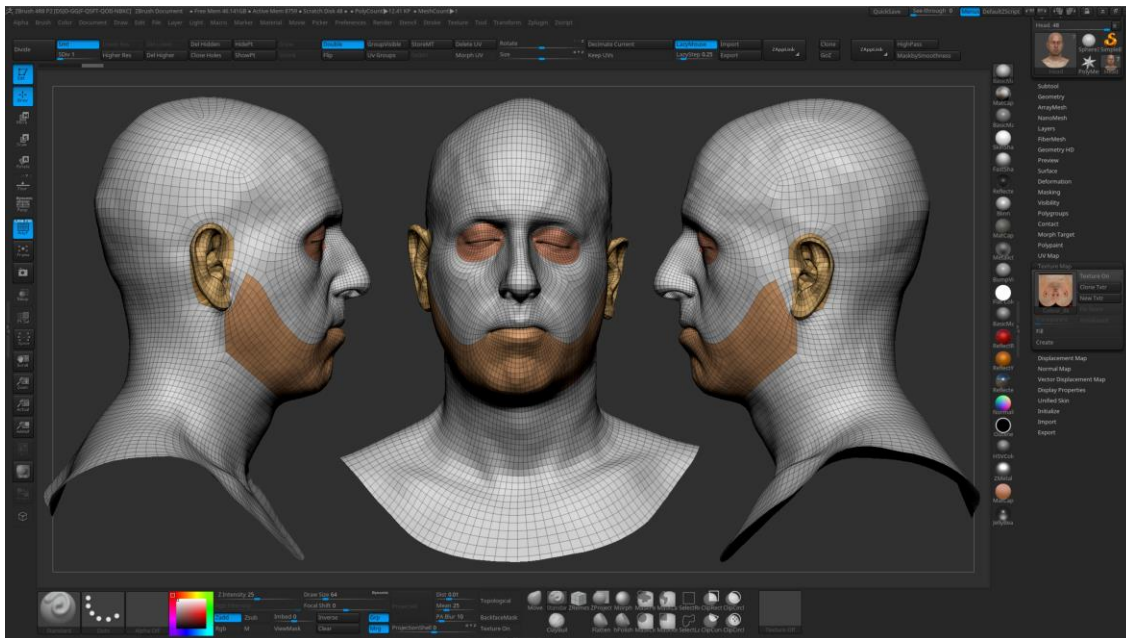
Te tekstury odpowiadają za detal i fakturę powierzchni.

- *specular maps*
- *gloss maps*
- *roughness maps*
- *metallic maps*
- *anisotropic maps*

Te tekstury określają które miejsca będą odbijać światła, jaki będzie kształt odbicia i jego moc. Większość przykładów określa powyższe cechy za pomocą skali szarości.

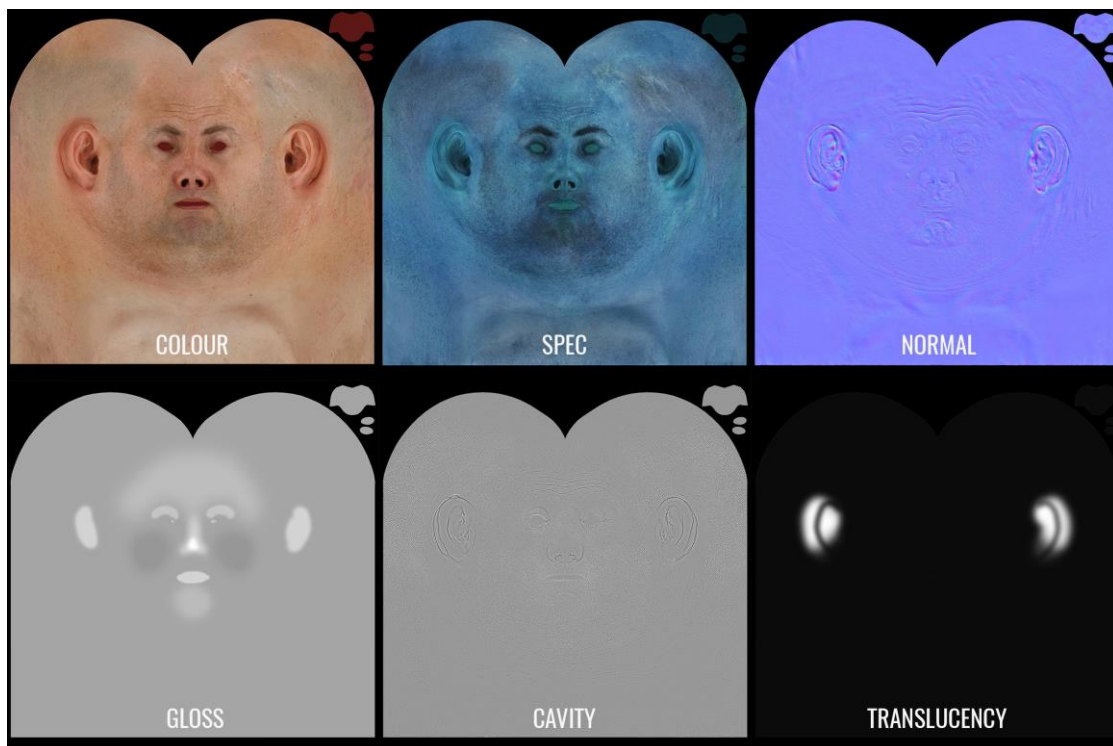
Przyjrzyjmy się zatem przykładowi złożonych tekstur na przykładzie zeskanowanej i zretopologizowanej głowy (5 poniższych obrazów). Model, tekstury i rendery użyte

w tym przykładzie, pochodzą ze strony 3dscanstore.com ([Free 3D Head Model \(3dscanstore.com\)](https://www.3dscanstore.com)) i użyte są za zgodą właściciela strony¹⁹.



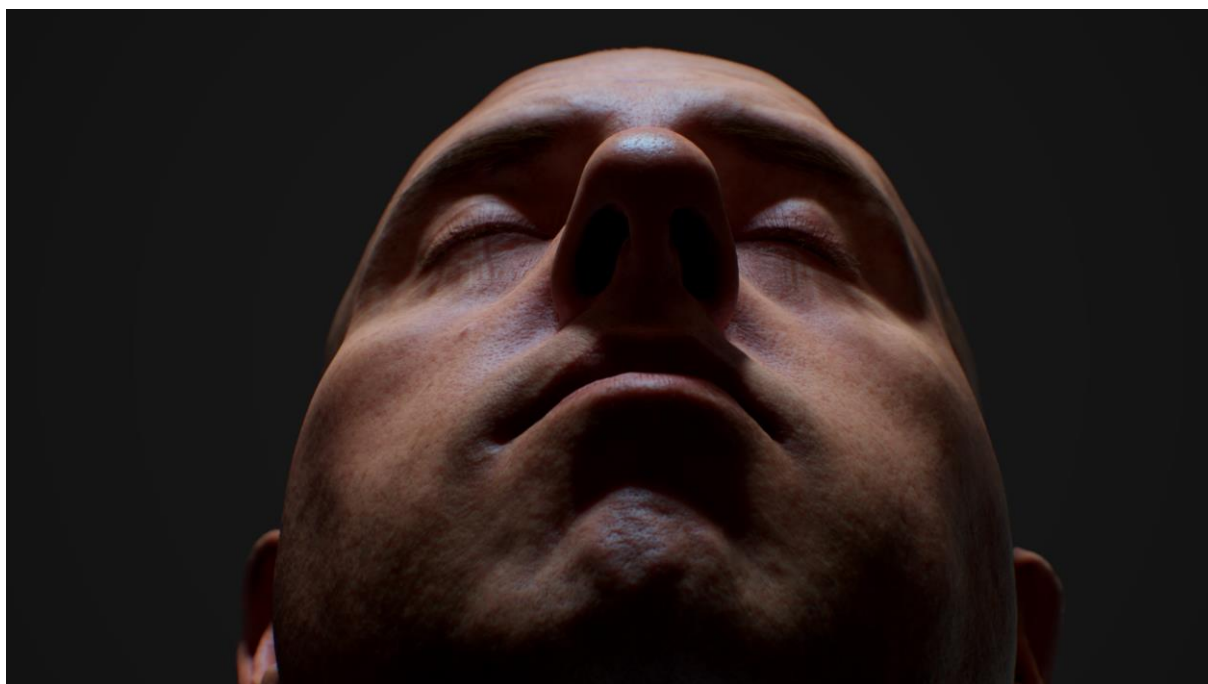
Bazony, zretopologizowany model skanu głowy (interface programu Z-Brush).

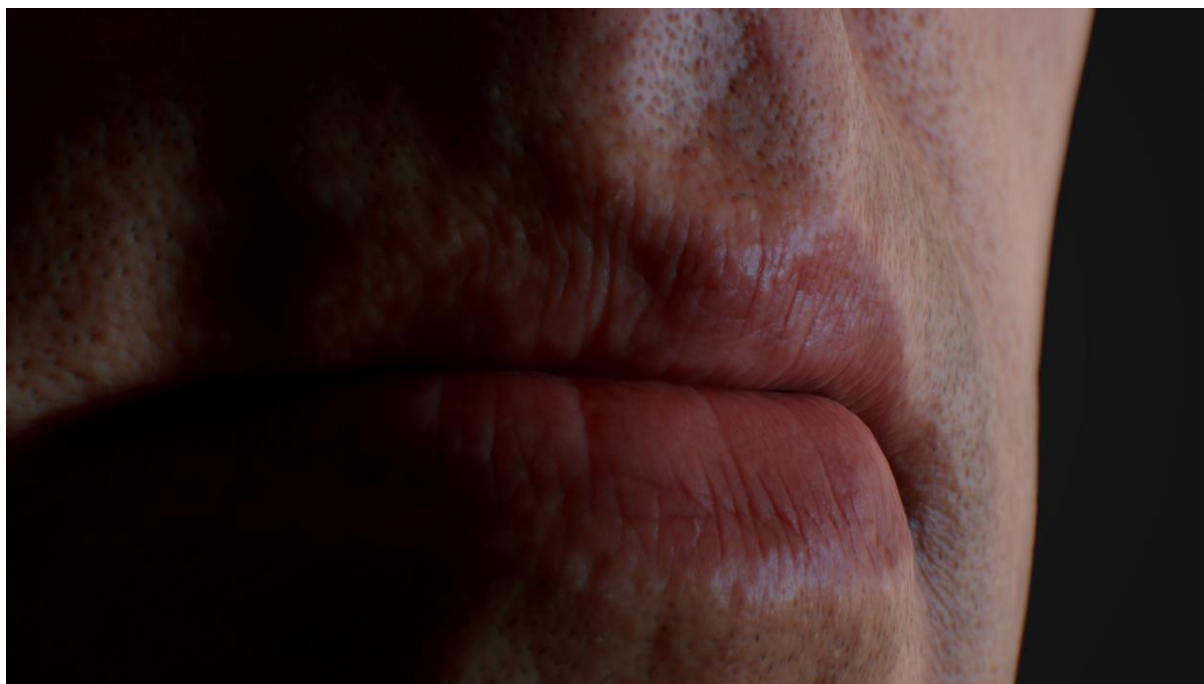
¹⁹ zgoda właściciela strony została zamieszczona w załącznikach do pracy – jest to printscreen korespondencji autora pracy z Jamesem Busy' m z lipca 2019 r.



Zestaw tekstur przedstawionych na kwadratowych mapach z koordynatami UV

Każda w powyższych tekstur stworzona została w rozdzielczości 4K co pozwala na rendery detali twarzy. Wynik jest obiecujący.





Ponżej rendery z wykorzystaniem tekstur. Widać wyraźnie poziom detalu, złożoność efektu końcowego, który można śmiało pomylić z fotografią.

Każda z tekstur musiała zostać stworzona od podstaw. Aby odpowiednio je zmodyfikować, należy spędzić dużo czasu nad studiowaniem referencji, przyglądaniem się im, analizowaniem ich budowy i zjawisk które fizycznie budują dany efekt. Shader jako zbiór tekstur różnego typu to bardzo czasochłonna część procesu wymagająca wielu prób w różnym oświetleniu. Nie ma jednej konkretnej metody budowania konkretnych materiałów, zawsze więc należy wziąć pod uwagę poziom detalu, który będzie niezbędny, czas renderu i możliwości sprzętowe, a przede wszystkim budżet.

II. 4. Oświetlenie

Tak jak w rzeczywistości, również w przestrzeni wirtualnej samo zjawisko widzenia przedmiotu opiera się na promieniu świetlnym, który po zetknięciu z danym przedmiotem, podlega wielu procesom fotofizycznym, dając wrażenie widzenia danego obiektu. Zjawiska te oczywiście da się wyliczyć i tym właśnie zajmuje się silnik renderujący. Render to między innymi przeliczenie i symulowanie zachowania światła bazujące na prawdziwym świetle. Narzędzia dostępne przy budowaniu wirtualnej sceny zbliżone są do tych namacalnych. Ustawiamy więc źródło światła – ma ono swoją charakterystykę powierzchni świecenia, kierunek, moc, temperaturę barwową. Wszystkie te cechy bazują na świetle rzeczywistym.

Oświetlenie w rzeczywistości i w grafice komputerowej

Symulacja iluminacji i współczynnika odbijania światła determinuje wygląd każdego piksela reprezentującego część obiektu wygenerowanego komputerowo. Oprogramowanie odpowiedzialne za przeliczanie tych procesów nazywa się ogólnie silnikiem renderującym, a sam proces - procesem renderowania.

Obserwacja tego, jak światło pada na powierzchnie, czyni wysoce niewystarczającym proces symulowania tylko źródła światła. Promień światła może odbijać się bowiem od kilku powierzchni zanim trafi „do oka”.

Należy zatem zwrócić należytą uwagę na złożoność czynności odbijania promienia świetlnego, a także na powierzchnie obiektów przezroczystych, które mogły zostać oświetlone przez promienie penetrujące ośrodek obiektu pod samą powierzchnią. Ten rodzaj renderu jest dużo bardziej kosztowny, czasochłonny i skomplikowany. Początek grafiki komputerowej oparty był o renderowanie światła padającego na powierzchnie nieprzezroczyste. Z biegiem czasu, gdy moc komputerowa komputerów znacznie wzrosła a ich cena była bardziej dostępna, algorytmy odpowiedzialne za render mogły stać się bardziej skomplikowane i dokładne, pozwalając na renderowanie oświetlenia w zetknięciu z powierzchnią taką jak skóra, włosy, wosk czy lód.

Gdy promień światła pada na powierzchnię może być częściowo odbity, lub częściowo zaabsorbowany. Światło skierowane może stać się światłem odbitym poprzez kontakt z powierzchnią. W historii rozwoju silników renderujących, skonstruowano wiele

algorytmów mających na celu przeliczanie tych zjawisk. Wiele z nich tworzyło symulację „miłą dla oka” ale sposób liczenia nie wiele miał wspólnego z prawdziwym fotometrycznym zachowaniem fal światła. Późniejsze algorytmy bazują na fizycznie poprawnych właściwościach matematycznie charakteryzujących dany materiał. Wiele spośród tych matematycznych modeli odbić zaprojektowano tak, by stworzyć iluzję konkretnej powierzchni np. odbicie źródła światła w błyszczącej powierzchni plastiku (*specular reflection*), albo matowej powierzchni suchego cementu (*diffuse response*). Często te proste algorytmy będą łączone ze sobą, by stworzyć powierzchnie bardziej złożoną, np. matowa powierzchnia z warstwą błyszczących przebarwień.

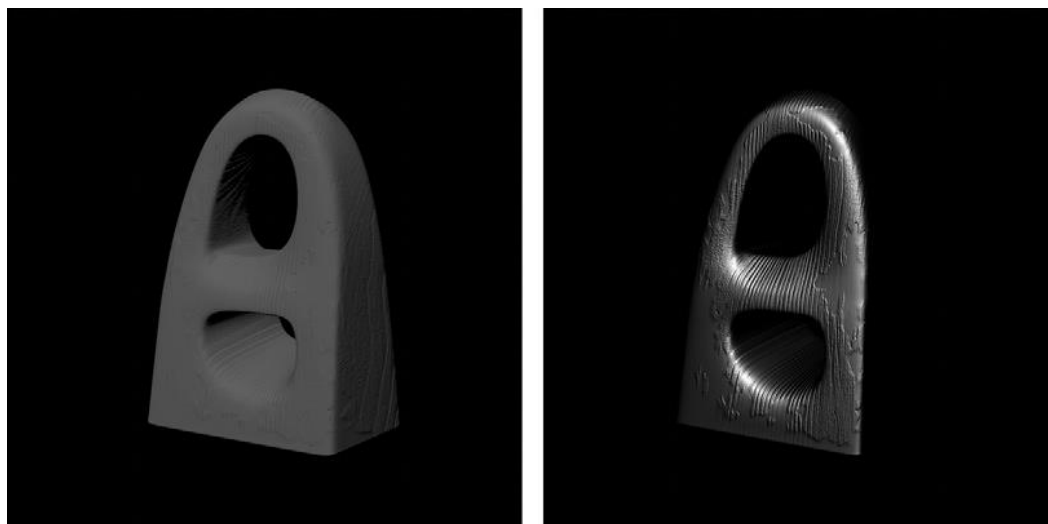
Jedne z najwcześniejszych modeli oświetlenia wygenerowanych komputerowo to „*Lambert shading*” opisujące zachowanie światła na gładkich materiałach matowych i „*Phong lighting*”, które opisuje wysokie światła, które widać np. na błyszczącym plastiku. Ten pierwszy określa ilość iluminacji względem kąta powierzchni do źródła światła. Powierzchnie prostopadłe do kierunku padania światła będą najjaśniejsze, a równoległe czarne. Na powierzchni kuli przy jednym źródle światła Lambert ukazałby akceptowalną imitację powierzchni matowej. Matematycznie zatem Lambert przelicza cieniowanie punktu powierzchni biorąc pod uwagę wektor padania światła i wektor ustawienia powierzchni owego punktu. Ten drugi określany jest mianem „*surface normal*”.

Phong lighting pchnęło sposób przeliczania odbicia światła od powierzchni względem kąta padania o krok dalej. Bui Tuong Phong zauważył, że na niektórych błyszczących obiektach można zobaczyć odbicie źródła światła jako jasny punkt z „miękkimi brzegami”. Matematycznie efekt ten można wyrazić za pomocą cosinusa:

$$(R \times L)^{\text{roughness}}$$

gdzie R jest wektorem kierunku światła odbitego od powierzchni cieniowanej, L jest wektorem kierunku światła, a *roughness* opisuje miękkość lub ostrość wysokich światel²⁰.

²⁰ Jeffrey A. Okun, Susan Zwerman, *The VES Handbook of Visual Effects Society, Industry Standard VFX Practices and Procedures*, 2010 Visual Effects Society, Published by Elsevier Inc., s. 654.



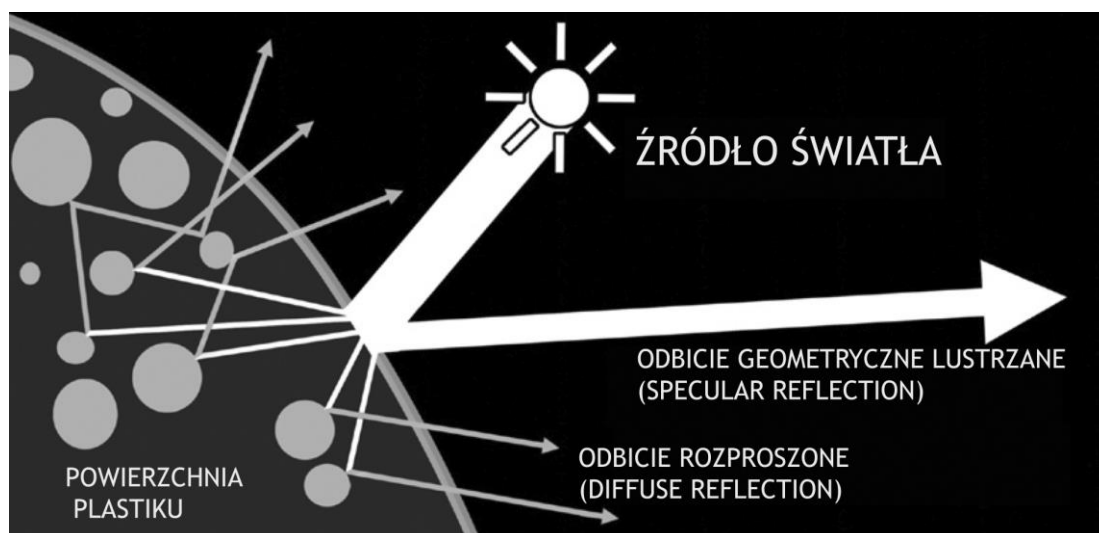
(źródło: Op. cit. s. 651)

Dwa rendery tego samego obiektu, po lewej cieniowanie metodą Lambert, po prawej Phong.

W pierwszej kolejności powinniśmy pojąć próbę analizy zachowania światła w rzeczywistości.

Zalóżmy więc, że widzimy obiekt stworzony z czerwonego plastiku, oświetlony jasnym źródłem światła. W rzeczywistości, kolor obiektu stworzony jest z małych cząsteczek pigmentu połączonych z przezroczystym ośrodkiem. Część promieni świetlnych zostanie natychmiast odbitych, tworząc mniej lub bardziej wyraźne odbicie źródła światła na powierzchni z zachowaniem jego struktury spektralnej. Reszta promieni świetlnych wniknie wewnątrz struktury plastiku i zacznie się odbijać od jego powierzchni, czyli cząsteczek pigmentu, które w tym wypadku absorbują fale spektralne inne niż czerwone. W tym momencie odbite od pigmentu promienie światła będą czerwone, stąd właśnie wrażenie koloru. Kąty padania o odbicia poszczególnych promieni zdeterminowane będą mikroskopijną, chropowatą strukturą cząsteczek pigmentu, która rozproszy światło na swojej powierzchni. To właśnie rozproszenie na powierzchni odróżnia materiał matowy od lustrzanego.

Proces ten znajduje odzwierciedlenie na poniższym wykresie:



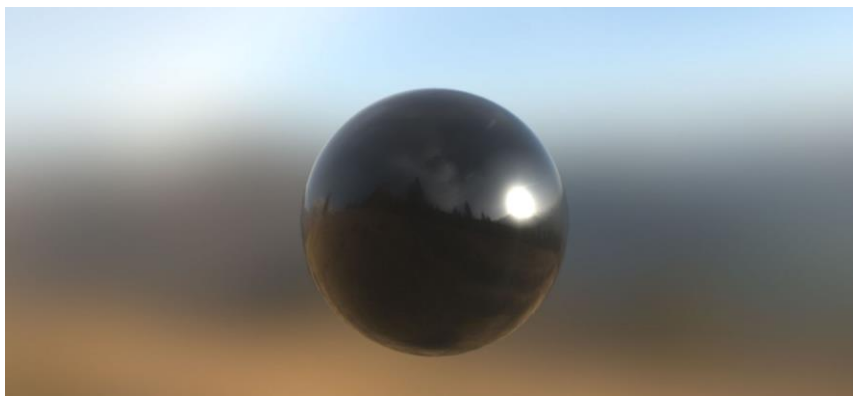
(źródło: Jeffrey A. Okun, Susan Zwerman, *The VES Handbook of Visual Effects Society, Industry Standard VFX Practices and Procedures*, 2010 Visual Effects Society, Published by Elsevier Inc., s. 654, tłum. Karol Stadnik)

Uproszczonego schemat odbicia światła.

By uzyskać ten efekt przy renderze, najszybciej i najprościej byłoby połączyć dwa wcześniej wymienione algorytmy.

Z czasem oczywiście ilość sposobów imitowania zachowania światła została udoskonalona, co dało twórcom grafiki dużo większą kontrolę. Zauważono np., że powierzchnie bardzo szorstkie niejako odbijają promień świetlny w kierunku źródła, z dużo mniejszym uwzględnieniem kąta powierzchni względem kąta padania światła. Najlepszym przykładem tego zjawiska jest księżyc, który mimo kulistego kształtu, często wygląda bardziej jak płaski talerz. To zjawisko słabo wpisuje się w algorytm Lamberta. W 1994 roku, Michael Oren i Shree K. Nayar opracowali kolejny matematyczny sposób przeliczania rozproszenia światła Oren – Nayar, będący alternatywą dla Lamberta, z uwzględnieniem zjawiska opisanego powyżej²¹. Później wprowadzono też równanie Fresnela, które bierze pod uwagę ilość odbitego światła względem kąta patrzenia. Najłatwiej wytłumaczyć to na przykładzie kuli. Załóżmy, że czarna kula jest pokryta lakierem o równej, odbijającej powierzchni. Patrząc na nią, łatwo zauważyć, że powierzchnia prostopadła do kąta patrzenia naszego oka będzie mniej lustrzana niż jej krawędzie, a więc powierzchnie równoległe do kąta patrzenia.

²¹ Op. cit., s. 654.



Przykład wyrenderowany na potrzeby pracy.

Sila odbicia na środku kuli jest dużo mniejsza niż na jej krawędziach, które wyglądają bardziej jak lustro. Wynika to z kąta patrzenia na materiał, który w gruncie rzeczy ma ten sam współczynnik odbicia na całej powierzchni.

Wraz z rozwojem procesorów i możliwości przeliczeniowych komputerów, sposoby cieniowania obiektów rozwijały się, pojawił się także precyzyjny pomiar odbijania światła względem kąta patrzenia poszczególnych prawdziwych materiałów (*refractive index*). Reflektometr pozwala na zebranie pomiarów określających odbijalność materiału w każdej możliwej konfiguracji kąta padania światła, względem charakterystyki powierzchni i kąta patrzenia.

Pomiary te można dziś implementować do silników renderujących jako tzw. BRDF (*bidirectional reflectance distribution function*), co pozwala na osiąganie fotorealistycznych efektów.

Opisane powyżej sposoby cieniowania sprawdzają się dobrze przy imitowaniu materiałów opisujących obiekty nieprzezroczyste takie jak metal, drewno, plastik. Sytuacja jednak komplikuje się nieco gdy mamy do czynienia z obiektami, które w rzeczywistości pozwalają promieniom świetlnym wnikać w ich strukturę. Mowa tu np. o skórze, wosku, marmurze, czy lodzie. Gdybyśmy oświetlili konturowo kawałek drewna i obok kawałek marmuru, drewno byłoby czarnym kształtem, a marmur ukazałby swą wewnętrzną strukturę. Efekt ten można uznać za rozproszenie wewnątrz materiału i określa się go mianem „*subsurface scattering*”²².

²² jest to mechanizm transportu światła, w którym światło, które penetruje powierzchnię półprzezroczystego obiektu, jest rozpraszane przez oddziaływanie z materiałem.



*Przykład renderu obiektu z shaderem opartym na subsurface scattering.
Obraz pochodzi ze strony www.alanzucconi.com (dostęp 10.01.2021).*

II. 5. Panoramiczne tło HDRI

Generowanie obiektów wirtualnych, zwłaszcza tych fotorealistycznych, niekiedy okazuje się nieco żmudne. Mimo ogromnego rozwoju technologii warto mimo wszystko wykorzystać maksymalnie materiał wcześniej zarejestrowany. Obiekty znajdujące się w oddali czy tła, często wykorzystują fotografię lub film. Nie ma potrzeby renderowania nieba i gór w oddali, jeśli występujący w naturze obraz spełnia wymagania.

Przy renderach, które wykonałem na potrzeby mojej pracy naukowej, niejednokrotnie używałem zdjęć służących za elementy tekstur, ale także zdjęć stworzonych jako panoramy HDRI.

HDRI (ang. *High dynamic range imaging*) jest to technika rejestrowania obrazu o poszerzonym zakresie tonalnym poprzez fotografowanie jednego obrazu kilka razy, za każdym razem w innej ekspozycji i łączeniu zdjęć w jeden obraz zawierający przez to dużo większy zakres tonalny niż większość nośników obrazu, wliczając nawet materiały światłoczułe.

Panoramiczna mapa HDRI składa się z dziesiątek zdjęć które po złożeniu dają obraz całej przestrzeni wokół miejsca, z którego rejestrowany był obraz. Każde z tych zdjęć składa się z kilku np. pięciu zdjęć rejestrowanych w różnych ekspozycjach. Możemy założyć, że różnica pomiędzy każdym z nich to jedna przysłona (skala logarytmiczna).

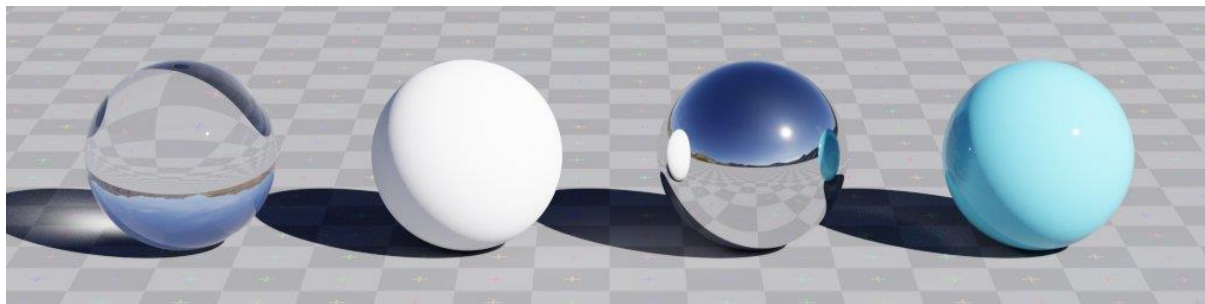


źródło: HDRI: Kiara 4 Mid-Morning | HDRI Haven, https://hdrihaven.com/hdri/?h=kiara_4_mid-morning (dostęp:10.01.2021)

Mapa HDRI użyta przy renderze samochodu. Dół i góra obrazu sprawia wrażenie rozciągniętej. Dopiero po nałożeniu na półkule obraz odzyska proporcje. Rozpiętość tonalna to ok. 23 przysłon.

Mapa pochodzi z darmowej biblioteki map hdri hdrihaven.com

Zmapowana na półkulę (od wewnętrznej strony) tekstura HDRI staje się jakoby nieboskłonem, środowiskiem otaczającym naszą scenę 3d. Program 3d jest w stanie odczytać z niego odbicia, kierunek światła, temperatury barwowe, cienie. Im lepsza jakość mapy HDRI, tym bardziej precyzyjny odczyt. Gdybym chciał na statycznej fotografii wstawić model 3d, który miałby pasować do sfotografowanego otoczenia, najszybszym i najbardziej wiernym sposobem byłoby wykonanie zdjęć z lokacji, stworzenie mapy HDRI i użycie jej przy renderze.



źródło: HDRI: Kiara 4 Mid-Morning | HDRI Haven, https://hdrihaven.com/hdri/?h=kiara_4_mid-morning (dostęp:10.01.2021)

Render próbny czterech kul, posiadających różne właściwości materiałów, od lewej – szkło, gips, chrom, plastik. Render wykorzystuje mapę HDRI ukazaną powyżej.

Oczywiście, nie jest to proces, który dzieje się z automatu i zawsze dopasowanie renderu do rzeczywistego obrazu wymaga pracy.



Widok na scenę 3d bez materiałów i tekstur. Oświetlenie odczytane z mapy HDRI, której widok sam w sobie jest wyłączony. Render wykonany na potrzeby pracy.

Sytuacja komplikuje się jeszcze bardziej, gdy nie mamy do czynienia z obrazem statycznym, ale z animacją, elementami poruszającymi się w przestrzeni, wtedy użycie samej mapy HDRI nie dałoby w żadnym wypadku zadowalających rezultatów. Trzeba wtedy odtworzyć część geometrii znajdującej się najbliżej obiektu ruchomego i dopiero w połączeniu z fotografią tła jesteśmy w stanie imitować przestrzeń. Shadery i tekstury zostały przygotowane w oparciu o oświetlenie odczytane z mapy HDRI. By całość sprawiała wrażenie rzeczywistej, tło wraz z elementami wirtualnej scenografii musi do siebie pasować pod względem koloru, faktur.



Klatka z renderu finalnego.

II. 6. Compositing

Aby w pełni pojąć przebieg etapu o nazwie compositing, należy poznać podstawy interpretacji i reprezentacji koloru. Te zagadnienia są bardzo szerokie i opisanie ich zajęłoby kilka prac naukowych, jednakże podstawowe uwypuklenie kilku aspektów jest niezbędne do zrozumienia jak i dlaczego niektóre elementy wpływają na compositing.

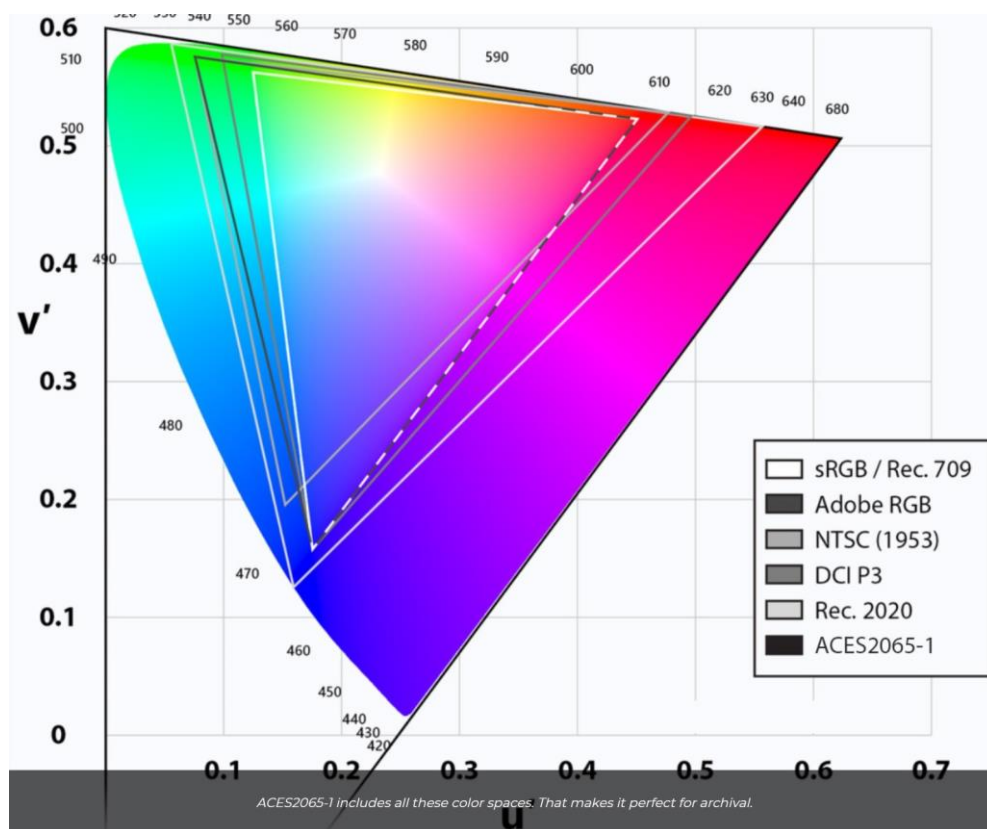
Podstawowe sposoby reprezentacji obrazu można podzielić na linearny i logarytmiczny. Nie są to przestrzenie barwowe, ale sposób zapisu informacji. Obrazy wygenerowane komputerowo są z reguły zapisywane w przestrzeni linearnej, w której każdy piksel posiada swoją wartość jasności. Jest to prostoliniowy zapis, w którym wartość jasności pomnożona razy dwa, daje dwa razy jaśniejszy piksel. Zapis obrazu w ten sposób nie jest jednak odbierany prawidłowo ani przez ludzkie oko, ani przez urządzenia reprezentujące obraz, takie jak monitory, wszelkiego rodzaju wyświetlacze. Aby percepcyjnie prawidłowo przedstawić gradient zapisany linearnie, potrzebujemy przeprowadzić korekcję Gamma, a więc użyć algorytmu kodującego i dekodującego luminancję obrazu. Powszechnie używana wartość gammy to 2.2, lub 1.8 na starszych systemach Macintosh²³.

Kodowanie logarytmiczne jest głównie używane do zapisu informacji ze skanowanej taśmy filmowej. Zapis logarytmiczny stworzono by móc zapisać rozpiętość tonalną negatywu. Format *Cineon* został stworzony by móc zapisać rozpiętość dziesięciu przysłon przy użyciu 10 bitów. Informacje te są efektywnie kompresowane przez kodowanie logarytmiczne. Umożliwia to reprezentację dużych zmian wartości ekspozycji wyrażonych w małych wartościach liczbowych. Zatem ta sama ilość informacji o ekspozycji może być wyrażona w sposób logarytmiczny, zamiast linearnego, który będzie potrzebował więcej ilości bitów i większego zakresu wartości. *Log Cineon* lepiej sprawdza się w odwzorowaniu właściwości negatywu ale gorzej jeśli chodzi o reprezentację obrazów generowanych komputerowo, które z założenia zapisywane są linearnie.

Zadaniem compositingu jest połączenie kilku warstw obrazu, wielu różnych elementów w jeden, który ma sprawiać wrażenie spójnego, pojedynczego obrazu. Czasami

²³ Op. cit. s. 683.

na obraz ten składają się materiały zarejestrowane przez różne urządzenia, obrazy CG, zdjęcia. Każdy z tych elementów może mieć inną jakość, sposób zapisu, ilość informacji w kolorze. Jest to skomplikowany etap wymagający oddzielnej specjalizacji. Kluczem do dopasowywania tych elementów jest sprowadzenie ich do pewnego rodzaju wspólnego mianownika – tu z pomocą przychodzi *ACES (Academy Color Encoding System)*. System kodowania kolorów *Academy* to system kodowania obrazów kolorowych stworzony przez setki profesjonalistów z branży pod patronatem Akademii Sztuki i Nauki Filmowej. Pracując z różnymi formatami plików cyfrowych mamy do czynienia z dużą ilością przestrzeni barwowych np. sRGB, Adobe RGB, Rec 2020 i wiele innych. Każda z nich określa zakres obsługiwanego spektrum kolorów stanowiącego większy lub mniejszy wycinek widzialnego spektrum kolorystycznego. ACES jest w stanie objąć je wszystkie, ponieważ jego zakres obejmuje całe spektrum widzialne.



(źródło: ACES Color Space (saji8k.com), <https://www.saji8k.com/displays/color-space/aces/>
(dostęp:10.01.2021))

Reprezentacja kilku przestrzeni barwowych. ACES2065-1 obejmuje całe spektrum światła widzialnego

Wprowadzając materiały różnego pochodzenia do przestrzeni ACES zamykamy je w ramach jednego typu reprezentacji, wspólnego mianownika towarzyszącego później

przy większości etapów postprodukcyjnych. Działanie ACES to następny temat na setki stron pracy, jednakże w sieci spokojnie można znaleźć odpowiednie informacje.

Compositing jest jednym z ostatnich etapów postprodukcyjnych, po nim jest jeszcze tzw. *final grade*, a więc ostatnie szlify zamykające korekcję barwną. Zawiera się w nim wszelkie działania mające w realistyczny sposób połączyć wszystkie dotychczas tworzone elementy. Proces jest dodatkowo skomplikowany przez obecność ruchu. Nie tworzymy obrazu pojedynczego ale ruchomy, stąd należy dobrać narzędzia do wprowadzania efektów na ruchomym obrazie. Mamy tu zatem do czynienia z takimi procesami jak, rotoskoping, trakowanie, kluczowanie, odtworzenie rozmycia ruchu, kreację perspektywy powietrznej, imitowanie efektów optycznych (flary, aberacje, głębia ostrości, efekty interakcji z obiektywem). Rendery CG również nie są pojedynczymi obrazami ale warstwami, które pozwalają lepiej dopasować każdy element. Zdjęcie poniżej pokazuje kilka warstw obrazu określanych jako *beauty render elements*.



(źródło: Render Elements - Chaos Group Help,

<https://docs.chaosgroup.com/m/mobile.action#page/60100167> (dostęp:10.01.2021))

Oddzielone warstwy wygenerowanego komputerowo obrazu, ich ilość i zastosowanie określa się przy renderze. Im więcej, tym większą kontrola w procesie compositingu.

Możemy dzięki nim wpływać na odbicia, przezroczystości materiałów, ilość szczegółów w cieniach i światłach, głębię ostrości, kolory poszczególnych elementów i etc. W mojej ocenie compositing jest jednym z najpotężniejszych narzędzi kreowania współczesnego obrazu filmowego.

Rozdział III – Przedstawienie oprogramowania

1. Z-Brush

Z-brush jest programem do modelowania 3D i 2.5D zaprezentowanym po raz pierwszy w 1999 roku na konferencji *SIGGRAPH*, wspomnianej w Rozdziale II.1. pracy. Do chwili obecnej został on wzbogacony i rozwinięty, stając się standardem światowym pracy w przestrzeni wirtualnej. Służy on do kompleksowego tworzenia modeli wirtualnych, jednak w odróżnieniu od standardowego modelowania poligonalnego, praca w *Z-brushu* polega na rzeźbieniu. Modelarz/rzeźbiarz przy pomocy tabletu rzeźbi w bryle, stopniowo nadając jej kształt, dodając detale, nabudowując, wycinając otwory niczym w glinie. Technologia, którą posługuje się *Z-brush* pozwala na tworzenie modeli o bardzo gęstej siatce (do około 50 milionów poligonów). Jest bardzo elastyczny jeśli chodzi o retopologizację i zmianę zagęszczenia siatki w każdym momencie modelowania. Wysokie zagęszczenie siatki pozwala na modelowanie zmarszczek, niedoskonałości skóry, rys itp. Umożliwia też malowanie po powierzchni modelu.

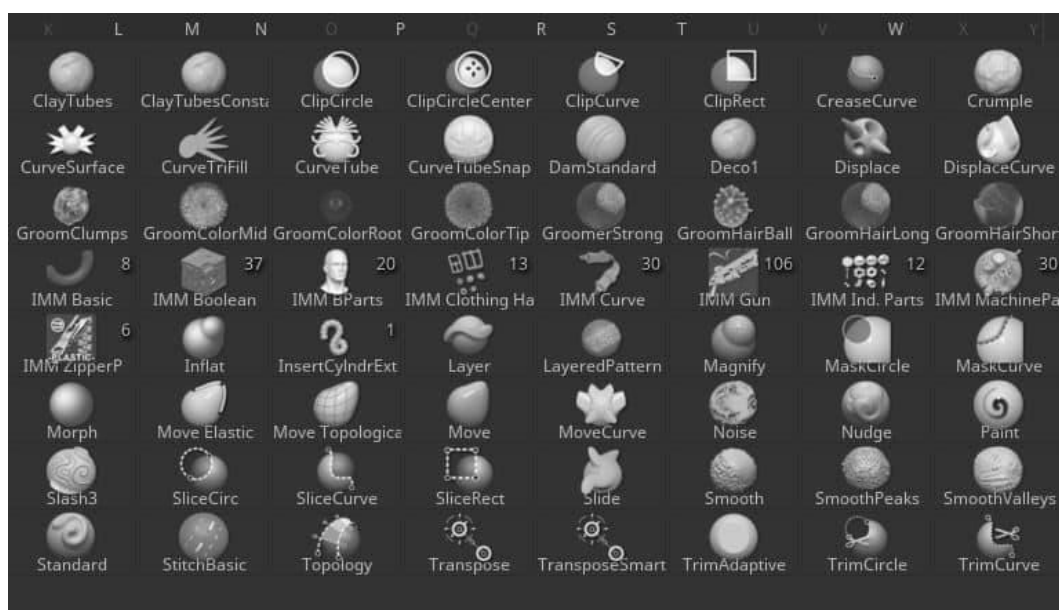


Zdjęcie po lewej stronie ilustruje tablet WACOM. Specjalnie dostosowany długopis reaguje na nacisk, położenie nad powierzchnią oraz kąt nachylenia względem niej, dając twórcom bardzo intuicyjne możliwości pracy nad obiektem. Jest to do dziś najczęściej wybierany sposób na tworzenie modeli organicznych. Formaty zapisu obiektów są oczywiście kompatybilne z innymi programami obsługującymi środowisko 3d. Model są eksportowane z mniejszą ilością poligonów, a najbardziej skomplikowany detal eksportowany jest za pomocą tekstur Normal maps lub bump maps dając w renderze taki sam efekt jak zagęszczona siatka.



Jeden z pierwszych modeli, które wykonałem w procesie uczenia się obsługi programu. Widoczny wysoki poziom detalu faktury gadziej skóry.

Samo rzeźbienie odbywa się za pomocą wirtualnych pędzli, z których każdy ma swoje właściwości i nazwę, dokładnie tak samo, jak różne narzędzia używane przy rzeźbieniu w glinie.



(źródło: <https://cgobsession.com/brushes-you-should-consider-using-in-zbrush/>) (dostęp: 10.01.2021)

Widok z interfejsu przedstawiający bazową paletę pędzli wirtualnych do wyboru.

Oczywiście, samo opanowanie interfejsu programu i jego narzędzi nie ma nic wspólnego z doświadczeniem kreatywnym rzeźbiarza czy twórcy konceptu postaci. Jest na rynku wielu twórców specjalizujących się w modelowaniu i konceptowaniu postaci. Ten dział zrzesza miliony twórców dzielących obecnie swoje doświadczenia w sieci. Ku mojemu szczęściu, jako osoby poznającej pracę tego typu pod kątem konkretnego

projektu, miałem dostęp do wielu artykułów i forów dostępnych w sieci bez ograniczeń. W programie tym wykonałem wszystkie organiczne modele faz rozwoju płodu ludzkiego użytej w prezentacji praktycznej.

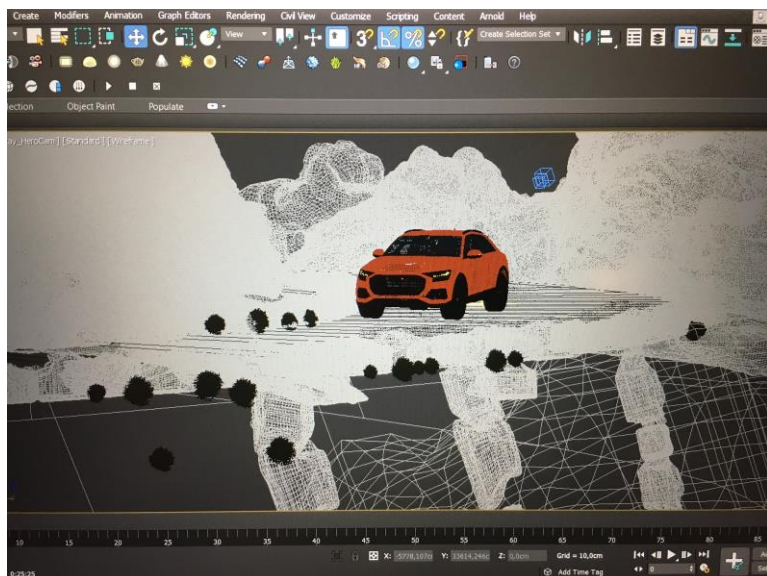
2. 3dStudio Max

Jest to program do tworzenia grafiki komputerowej i animacji. Obok programów takich jak *MAYA*, *Blender*, *Cinema4d*, również dostępnych na rynku, jest to program w którym tworzymy całą wirtualną scenę. Obiekty 3d, ich układ względem siebie, animacja obiektów, położenie i ruch kamery, wirtualne oświetlenie i wreszcie budowanie materiałów i render odbywają się z płaszczyzny tego programu. Posiada on wiele systemów symulacji jak np. „*cloth simulator*” pozwalający na przeliczenia zachowania tkanin, czy ubrań, a także: *wbudowany system do zaawansowanej animacji postaci dwunożnych – Character Studio – który do niedawna był jednym z najczęściej wykorzystywanych systemów animacji postaci przy produkcji gier komputerowych, system symulacji fizyki reactor (który w wersji 2012 został zastąpiony przez MassFX) oraz zaawansowane narzędzia do kontroli animacji za pomocą diagramów. Program oferuje szereg narzędzi do polymodelingu oraz podstawowe narzędzia do modelowania w technice krzywymi NURBS²⁴.*

Na rynku istnieje bardzo dużo systemów kompatybilnych z programem, które dają dodatkowe możliwości, jak np.: *Craft Director Studio* posiadający systemy przygotowane pod animację pojazdów kołowych i samolotów, czy *V-ray*, będący zewnętrznym silnikiem renderującym. Wszystkie sceny wirtualne, prowadzące do końcowego renderu użytego w pracach praktycznych, stworzyłem właśnie w *3dStudio max*. Pędzący przez pustynną drogę samochód, tykający zegarek, bijące miniaturowe serce czy falująca nić DNA, zostały zaanimowane, oświetlone i wyrenderowane specjalnie na potrzeby doktoratu. Łączna ilość godzin pracy przekroczyła 2000 godzin, czyli ok. 83 doby, nie licząc czasu spędzonego na naukę narzędzi i render.

²⁴ wyjaśniając system posłużyłem się opisem z encyklopedii internetowej wikipedia.pl,

https://pl.wikipedia.org/wiki/3ds_Max .



Po lewej interfejs programu *3DstudioMax* z widokiem sceny próbnej. Poniżej ta sama klatka po renderze.



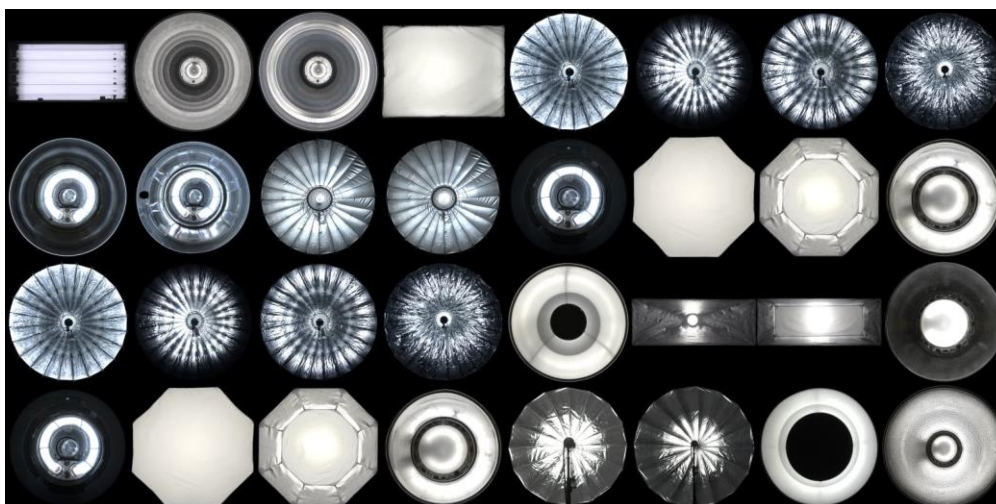
Render pojedynczej klatki przy tego typu scenie w rozdzielczości 1920 x 1080 na laptopie dostępnym w masowej sprzedaży, zajmował 1 godzinę i 58 minut.

3. *HDRI Light Studio*

Jest to program służący do oświetlania modeli/scen 3d. Stworzony przez firmę *Lightmap* program występuje w wersji samodzielnej ale jego główną zaletą jest możliwość zainstalowania go jako wtyczki do większości dostępnych na rynku programów

obsługujących środowisko 3D, w tym wyżej wymienionego *3d max'a*. Tworząc scenę 3D, twórca musi zmierzyć się z procesem oświetlenia, który tak samo jak w rzeczywistości na planie ma niezwykle ważną rolę. Proces ten może być bardzo skomplikowany i czasochłonny, zwłaszcza jeśli mamy do czynienia z renderem produktowym/reklamowym. Pierwotnie, każda drobna zmiana światła wymagała krótkiego renderu, co niezwykle wydłuża pracę i czyni precyzję luksusem. Przy użyciu *HDRI Light Studio* jesteśmy w stanie pracować na scenie 3D symultanicznie i interaktywnie w obydwu programach. Punkt widzenia kamery, modele 3D i część materiałów, nad którymi pracujemy w naszym bazowym programie, np.: w *3DstudioMax* przekazywane są do *HDRI Light Studio*, w którym zajmujemy się tylko oświetleniem i możemy je ustawiać prawie w czasie rzeczywistym, z opóźnieniem które nie stanowi problemu w procesie tworczym.

Program ma w swojej bibliotece dziesiątki cyfrowych lamp, mających swój odpowiednik na rzeczywistym planie filmowym. Każdy z nich jest sfotografowaną wcześniej mapą HDRI konkretnego źródła światła jak np.: odbłyśnik z żarnikiem lampy open face, czy softbox konkretnych wymiarów.

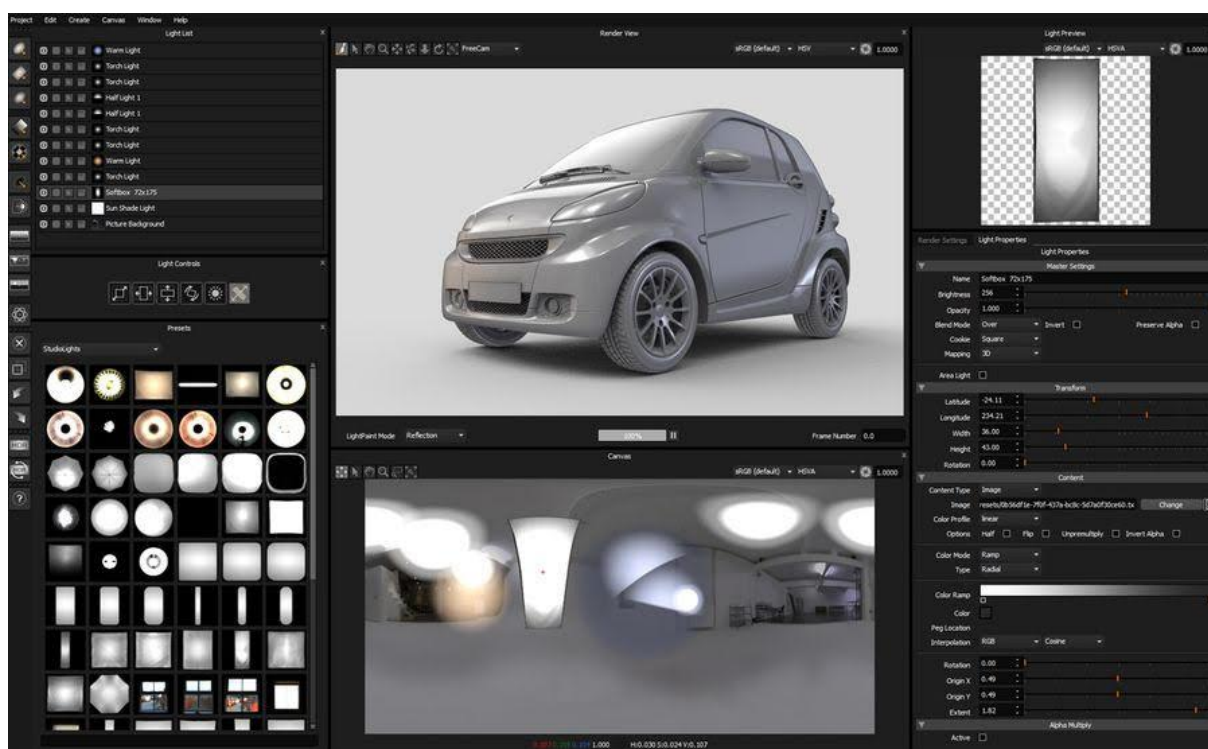


(źródło: https://www.fxguide.com/wp-content/uploads/2016/12/NEW_LIGHTS.jpg (dostęp: 10.01.2021))

Kilka wybranych map HDRI prawdziwych źródeł światła studyjnego.

Jest też oczywiście możliwość stworzenia własnego, nieskazitelnego kwadratu lub prostokąta, który będzie powierzchnią świecąca, jednakże doświadczenie pokazuje, że

render oświetlany źródłem światła mającym mało wspólnego z rzeczywistością, jest bardziej sztuczny. Każde źródło światła jest mapą HDRI a więc ma ogromną, oscylującą w granicach 22 przysłon rozpiętość tonalną. Mamy całkowity wpływ na rozmiar źródła światła, natężenie światła, temperaturę barwową, kolor i położenie źródła światła. Możemy też wczytywać jako otoczenie mapy HDRI z innego źródła, np.: otoczenie wcześniej sfotografowanej nocnej ulicy itd.



(źródło: <https://www.3dnf.com/actualite-19239-bdr-light-studio-5-4-en-test.html/>) (dostęp: 10.01.2021)

Interfejs programu HDRI Light Studio. Po środku na górze podgląd oświetlenia obiektu fotografowanego. Pod spodem widok panoramiczny rozmieszczenia źródeł światła, po lewej biblioteka źródeł światła, po prawej edytor źródła światła.

Gotowy setup oświetlenia można wyeksportować jako panoramiczne tło HDRI i wykorzystać do końcowego renderu.

Użycie programu jest bardzo intuicyjne i oszczędza godziny pracy. Przy renderze zagarka Breitling, będącego częścią mojej prezentacji praktycznej, oświetlenie studyjne obiektu zbudowałem przy użyciu tego konkretnego programu.

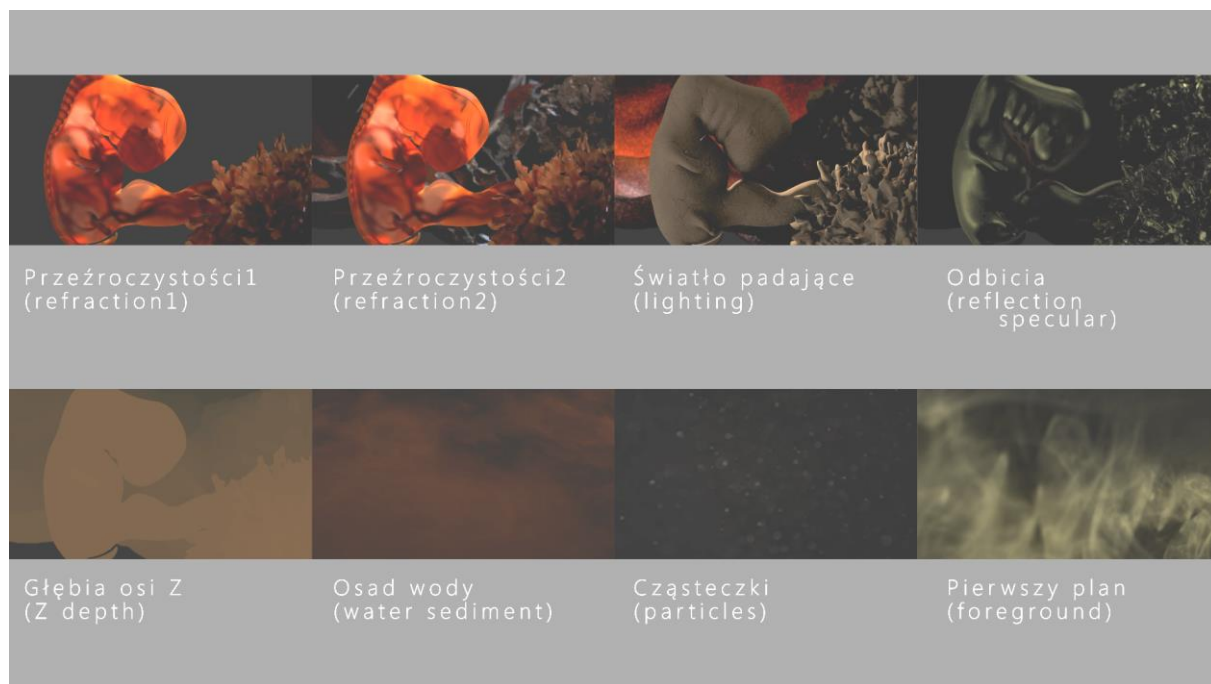


Stworzone do prezentacji klatki renderu wykorzystujące oświetlenie zbudowane w HDRI Light Studio.

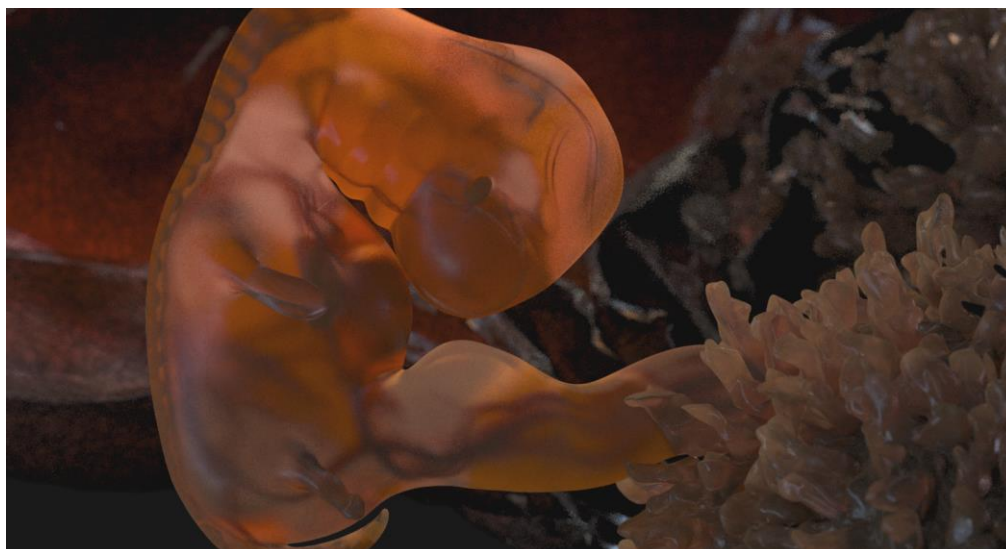
4. Adobe After Effects

Program stworzony przez Adobe Systems i będącym elementem bardzo popularnego w przemyśle filmowym pakietu *ADOBE*. Jest to program do kreacji cyfrowych efektów wizualnych, ruchomej grafiki i compositingu. Może być użyty też do kluczowania, traktowania i animowania. Podstawowym środowiskiem obsługiwany przez program jest przestrzeń 2D jednakże jest też opcja podstawowej edycji 3D. Efektywność programu rośnie po wzbogaceniu go o odpowiednie *plug-iny*, w zależności od pola, w którym potrzebujemy bardziej rozwiniętych narzędzi. *Plug-iny* to wtyczki zewnętrzne, posiadające dodatkowe możliwości, których nie ma podstawowa wersja programu. Dwa podstawowe użyte w moich pracach praktycznych to *RSMB Pro* - zaawansowane narzędzie do rozmycia ruchu. Rozmycie generowane jest przez przeliczenie przemieszczenia podobnych pikseli w klatkach sąsiadujących. Czulość na ruch i rodzaj rozmycia jest pod kontrolą i da się go dopasować lub zbliżyć do materiału rejestrowanego kamerą. Drugim jest *Frischluff Lenscare*, który generuje głębię ostrości na podstawie warstwy renderu *Z-depth*. *Z-depth* określa odległość obiektów 3D od kamery za pomocą skali szarości. Im dalej, tym ciemniej. *Lenscare* jest w stanie określić rodzaj rozmycia w zależności od jasności piksela. Możemy określić, który odcień szarości ma być w ostrości, a także zdefiniować płytkość głębi

ostrości. Mamy też kontrolę nad wyglądem rozmycia, kształtem przysłony i deformacjami kształtów. Wszystkie prace wizualne wykonane na potrzeby pracy doktorskiej podlegały compositingowi w programie *Adobe After Effects*. Wiele warstw końcowego obrazu stworzonych było od podstaw dopiero na tym etapie.



Odseparowane warstwy użyte do compositingu.



Na górze, klatka po zakończeniu renderu. Poniżej ta sama klatka po compositingu.



After Effects ma swoje ograniczenia, są programy bardziej wyspecjalizowane, posiadające precyzyjniejsze narzędzia takie jak *The Foundry NUKE*. Sama jednak cena programu i dostęp do lekcji i kursów sieciowych wiele lat temu skłoniła do posługiwania się pakietem Adobe.

Nauka posługiwania się tymi programami to kolejne setki godzin pracy, której nie ma zebranej kompleksowo w żadnej szkole w Polsce, a na świecie jest ich póki co niewiele. Większość informacji pozwalających na naukę i zbieranie doświadczenia znalazłem w sieci na przestrzeni wielu lat. Możliwości rozwijają się każdego dnia i za jakiś czas, narzędzia te będą lepsze, szybsze i łatwiejsze w obsłudze.

Zakończenie

Zagadnienia stanowiące przedmiot niniejszej pracy rozwijają się każdego dnia, zapewniając potężne możliwości nie tylko w przemyśle filmowym. Wiedza na temat tworzenia wirtualnej rzeczywistości z pewnością nie jest możliwa do opanowania a tym bardziej do zastosowania dla jednego człowieka. Rozumienie tych procesów, a następnie stosowanie ich przy własnej twórczości zajęło mi wiele lat, tym bardziej, że w naszym kraju nie ma kompleksowych miejsc szkolenia tych zagadnień.

Problematyka poruszona w rozdziale II niniejszej pracy zafascynowała mnie jednak na tyle, że skutecznie poszukiwałem sposobów na zgłębienie wiedzy o tej nowatorskiej, interesującej dziedzinie mojej pracy zawodowej. Moim zdaniem praca Autora Zdjęć już teraz i na pewno bardziej w przyszłości, będzie wymagała świadomości tych narzędzi, w przeciwnym razie, zdjęcia staną się tylko elementem compositingu. Rozwój możliwości postprodukcyjnych wiele daje, ale równie wiele wymaga. To miłe obserwować filmy takie jak „Grawitacja” w reżyserii Alfonso Cuaróna, czy „Zjawa” Alejandra Gonzalez Inarritu, które są wspaniałym przykładem kolaboracji między autorem zdjęć (w obydwu przypadkach mowa o Emmanuelu Lubezkim), a pionem postprodukcyjnym. W obu przypadkach opowiadanie obrazem było na tyle silnie oddziałujące i nowatorskie, że na długo zapadnie widzowi w pamięci.

Z procesem twórczym przy użyciu technologii opisanych w tej pracy, miałem do czynienia wielokrotnie przy pracy zawodowej. Mam w planach dzielenie się tymi doświadczeniami w pracy dydaktycznej na Uczelni, jeśli tylko będą ku temu warunki i dostanę możliwość prowadzenia własnych zajęć.

Praca praktyczna wykonana przez mnie miała pobudzić widza do refleksji i namysłu nad istotą początku i końca życia, miała spełniać warunek wypowiedzi artystycznej o wymiarze filozoficznoetycznym. Istotą mojej pracy było postawienie pytań, stworzenie dylematów moralnych, bez ich jednoczesnego rozstrzygnięcia.

Żyjemy w ciekawych czasach, tematów do filmów jest bardzo dużo, jednocześnie natomiast widz bardzo dużo już w kinie widział i śmiem twierdzić, że czuje coraz mniej. Gdzieś w otchłani własnych marzeń chciałbym dostać szansę na wykorzystanie tej wiedzy przy wartościowym, potrzebnym projekcie ale póki co mogę sobie tego życzyć.

Słownik pojęć

CGI (ang. *Computer Generated Imagery*) – obraz wirtualny, wygenerowany za pomocą programu komputerowego,

HDRI (ang. *High dynamic range imaging*) – technika rejestrowania obrazu o poszerzonym zakresie tonalnym poprzez fotografowanie jednego obrazu kilka razy, za każdym razem w innej ekspozycji i łączeniu zdjęć w jeden obraz zawierający przez to dużo większy zakres tonalny niż większość nośników obrazu, wliczając nawet materiały światłoczułe,

konceptowanie – odkrywanie zamysłu, wizji środowiska lub postaci,

koordynat UV – współrzędne rozmieszczenia punktów do przyporządkowania tekstury na bryle 3d,

morfining – płynne przejście jednego obrazu w drugi,

plug – iny – wtyczki zewnętrzne, posiadające dodatkowe możliwości, których nie ma podstawowa wersja programu,

poligon – najmniejsza składowa bryły 3d, z poligonów składa się rozdzielczość bryły,

propsy – rekwizyty,

retopologizacja – tworzenie optymalnej siatki modelu,

rigowanie – proces przygotowujący do animowania modelu 3d, może polegać na budowaniu podstawowych szkieletów bryły, ustalaniu zakresu ruchów i angażuje różne systemy kontroli tych ruchów,

shader – przy tworzeniu materiału shader jest algorytmem, który odpowiada i kontroluje jak materiał reaguje na światło,

tesselacja – proces tesselacji polega na podziale jednego poligona na kilka mniejszych, równych części,

VFX (ang. *Visual Effects*) – efekty wizualne, oparte nie tylko o techniki komputerowe; kreacja, manipulacja obrazowa, która wychodzi poza kontekst materiału zarejestrowanego kamerą,

woksel – najmniejszy element przestrzeni w grafice trójwymiarowej, w pewnym sensie odpowiednik piksela w grafice dwuwymiarowej.

Bibliografia

Bartel H., *Embriologia, Podręcznik dla studentów*, PZWL Wydawnictwo Lekarskie, Wydanie V, Warszawa 1999,

Busby J., *Retopologising 3D Scans with Wrap 3 (3dscanstore.com)*,
https://www.3dscanstore.com/blog/retopologising-3dscan-wrap3?fbclid=IwAR2MmCqEsN_ObVlAwTol0TESWW3VPaY1J-xjRwgHof93vFD4uu3IoJTu9K4
(dostęp 10.01.2021),

Jeffrey A. Okun, Susan Zwerman, *The VES Handbook of Visual Effects Society, Industry Standard VFX Practices and Procedures*, 2010 Visual Effects Society, Published by Elsevier Inc.,

Lilkova G., *Render Elements*, Chaos Group Help,
<https://docs.chaosgroup.com/m/mobile.action#page/60100167> (dostęp:10.01.2021)

Rojo J., *Making of Audi R8 in Desert | free3DTutorials.com*, <http://www.free3dtutorials.com/making-of-audi-r8-in-desert.php> (dostęp: 10.01.2021),

Sacawa B., *He Spoke Style*, Photography by Rob McIver Photo, <https://hespokestyle.com/breitling-navitimer-history/> (dostęp 10.01.2021),

Sadler T. W., *Langman Embriologia*, pod red. Malejczyk J., Kujawa M., Wydanie XIII, Wrocław 2019,

Linki

(według kolejności pracy)

Siggraph Production Session²⁵ 2015 - Chappie Asset Development, <https://vimeo.com/168122510> (dostęp: 10.01.2021);

VFX Breakdown by Image Engine (2009), <https://youtu.be/0PKLQpMQW3Q> (dostęp 10.01.2021);

Blade Runner 2049 - VFX Breakdown by MPC (2017), <https://youtu.be/nQcxEo5MUc8> (dostęp 10.01.2021);

UV Mapping (vectary.com), <https://www.vectary.com/docs/uv-mapping/> (dostęp: 10.01.2021)

Free 3D Head Model, <https://www.3dscanstore.com> (dostęp 11.01.2021);

Kiara 4 Mid-Morning | HDRI Haven, https://hdrihaven.com/hdri/?h=kiara_4_mid-morning (dostęp:10.01.2021);

ACES Color Space (saji8k.com), <https://www.saji8k.com/displays/color-space/aces/> (dostęp:10.01.2021)

²⁵ Siggraph Production Session – Coroczna konferencja poświęcona grafice komputerowej, organizowana przez ACM Siggraph od 1974 r.

Załączniki

