

**VYSOKÁ ŠKOLA MUZICKÝCH UMENÍ V BRATISLAVE**

**FILMOVÁ A TELEVÍZNA FAKULTA**

**ATELIÉR VIZUÁLNYCH EFEKTOV**

**Project: Trash -Tvorba VFX v záverečnom bakalárskom filme**

**BAKALÁRSKA PRÁCA**

2021

Maroš Seidmann

**VYSOKÁ ŠKOLA MUZICKÝCH UMENÍ V BRATISLAVE**

**FILMOVÁ A TELEVÍZNA FAKULTA**

**ATELIÉR VIZUÁLNYCH EFEKTOV**

**Project: Trash** – Tvorba VFX v záverečnom bakalárskom filme

**BAKALÁRSKA PRÁCA**

Študijný program:

Kameramanská tvorba a Vizualne efekty

Študijný plán:

Vizualne efekty

Školiteľ:

Ing. arch. Marek Hollý

Bratislava 2021

Maroš Seidmann

## **Čestné vyhlásenie**

Vyhlasujem, že som písomnú časť bakalárskej práce pod názvom „Stručná história CG, vývoj a využitie textúr a materiálov v 3D priestore“ a „Project: Trash - Proces tvorby 3D assetov, animácií a integrácie do prostredia v bakalárskom filme“ vypracoval samostatne, pod vedením odborného konzultanta, na základe vlastných teoretických a praktických poznatkov a odbornej literatúry.

## **Pod'akovanie**

Chcel by som poďakovať svojmu školiteľovi, Ing. arch. Marekovi Hollému za kvalitnú spätnú väzbu na písomnú prácu aj bakalársky film, Prof. Ľudovítovi Labíkovi, ArtD. za všetky konzultácie, rady a ochotu zodpovedať hocijakú otázku. Taktiež chcem poďakovať celému výrobnému štábu aj pomocnej sile pri postprodukcii. V neposlednej rade chcem poďakovať svojej rodine za trpezlivosť a podporu počas môjho najintenzívnejšieho pracovného obdobia.

## **Abstrakt/SK/**

V prvej časti bakalárskej práce sa chcem venovať histórii počítačovej grafiky, využitia a zobrazenia textúr v 3d priestore, vysvetlenie jednotlivých typov textúr spolu s príkladmi. Taktiež v skratke opíšem tvorbu setu textúr pomocou plošného skeneru (praktický test tohoto spôsobu scanovania plánujem na Mgr. ročník).

V praktickej časti sa budem opisovať postupy pri tvorbe bakalárskeho filmu. Budem sa zameriavať na prácu na CG elementoch, skenovanie, modelovanie, animáciu, nasvietenie modelov vrátane hdri máp, render a všeobecnú prípravu na postprodukcii. Doplnkovo sa povenujem aj 3D tlači ktorý tiež bude mať vo výslednom filme svoje miesto.

## **Abstarct/EN/**

In the first section of my bachelor thesis I want to focus on history of computer graphics, use and visual representation in 3d space, explain different tipes of textures with examples. I'm also going to describe the process of creating a set of textures with a surface scanner (I plan on making a practical test of this scanning method for my Master's thesis).

In the practical section I'm going to focus on following and describing process of creating my bachelor degree movie. I'm going to focus on working on CG elements, scanning, modelling, animation, lighting and hdri maps, rendering and general preparation for postproduction. I will also in short write about 3D printing which also has its part in production of the movie.

## Obsah

Čestné vyhlásenie .....	3
Pod'akovanie.....	4
Abstrakt/SK/.....	5
Abstarct/EN/.....	6
Úvod .....	9
<b>1</b> <b>Stručná história CG, vývoj a využitie textúr a materiálov v 3D priestore.</b>	<b>10</b>
1.1        Definícia CG.....	10
1.2        Stručná história rannej CG .....	10
1.2.1      CAD, Sketchpad, prvé praktické využitia CG.....	10
1.2.2      Vektor a raster, prvé využitie vo filmoch.....	11
1.2.2.1    Tron .....	12
1.2.3      University of Utah .....	13
1.3        Textúry .....	15
1.3.1      Definícia textúr.....	15
1.3.2      UV mapovanie a textúrovanie .....	15
1.3.2.1    Projekcia .....	16
1.3.2.2    Procedurálne textúrovanie .....	16
1.3.3      Vertex paint .....	17
1.3.4      PBR a Non-PBR .....	17
1.3.5      Dôležité pojmy a atribúty obrazových súborov.....	17
1.3.5.1    Obrazové kanály .....	17
1.3.5.2    Rozlíšenie .....	18
1.3.5.3    Bitová hĺbka.....	19
1.3.5.4    Formáty.....	20
1.3.6      Základné typy textúr vo VFX aj Hernom dizajne a ich vlastnosti .....	20
1.3.6.1    Diffuse .....	20
1.3.6.2    Roughness/Glossiness .....	21
1.3.6.3    Metallic.....	21
1.3.6.4    Specular .....	22
1.3.6.5    Normal.....	22
1.3.6.6    Height .....	23

1.3.6.7	Opacity .....	24
1.3.6.8	Ambient occlusion.....	25
1.3.6.9	HDRI mapy, environment lighting.....	26
1.4	Tvorba PRB textúr pomocou povrchového skeneru .....	28
<b>2</b>	<b>Project: Trash - Proces tvorby 3D assetov, animácií a integrácie do prostredia v bakalárskom filme.....</b>	<b>30</b>
2.1	Anotácia.....	30
2.2	Obsah príbehu.....	30
2.3	Hardvér a softvér, príprava.....	30
2.3.1	Hardvér .....	30
2.3.1.1	Výrobná a postprodukčná technika .....	30
2.3.1.2	Svetlá a dodatočný hardvér .....	31
2.3.2	Softvér .....	32
2.3.3	3D tlač .....	32
2.4	Produkcia.....	34
2.4.1	Fotenie HDRI mapy .....	34
2.5	Postprodukcia .....	35
2.5.1	Hlavné členenie CG VFX vo filme .....	35
2.5.1.1	Robotické rameno na korytnačke .....	35
2.5.1.2	Laboratórium/ Set extention .....	36
2.5.1.3	Exteriér - Mesto .....	36
2.5.2	Príprava assetov.....	37
2.5.3	3D tracking .....	39
2.5.4	Animácia a simulácia .....	40
2.5.5	Svietenie .....	43
2.5.6	Render.....	46
	<b>Zoznam ilustrácií .....</b>	<b>48</b>
	<b>Bibliografia a internetové zdroje.....</b>	<b>51</b>



## Úvod

Textúry sú neodmysliteľnou súčasťou tvorby CGI vo VFX aj hernom dizajne. Pri pojme CGI nám často príde prvé na myseľ 3d modelovanie, pritom to je iba začiatok. Keď si to prirovnáme k stavbe domu, hotový model je ako dom z holých tehál, stojí ale nie je dokončený, vyzerá beztvoro, nemá charakter. Textúry sú ako omietka a farba, dodajú mu farbu, charakter, atmosféru. S textúrami sa pri tvorbe VFX aj hier, resp. hocijakých 3d vizualizácií, stretne veľmi rýchlo. Nielen kvôli ich schopnosti dodať modelu charakter, ale aj vo veľa prípadoch zjednodušiť prácu. Alebo v prípade hier dosiahnuť úroveň detailu ktorá by bez nich nebola možná, resp. by si vyžiadala vysokú daň na výkone.

Keď som sa ja prvý krát dostal ku textúram, mal som problém nájsť zdroj ktorý by mi vysvetlil základy, ktorý nie je iba jedna-dve vety ku téme alebo rozsiahly vedecký text. Preto sa v nasledujúcom texte posnažím stručne zhrnúť informácie o textúrach ale aj dôležité témy ktoré sa na ne viažu.

V druhej časti textu sa zameriam na proces tvorby môjho bakalárskeho filmu. Krátky film je koprodukciami medzi mnou, Mariánom Valovičom a Patrikom Maryniakom. Prvý koncept na projekt začal vznikáť podľa inšpirácie vfx záberu koncipovaného ako hmyzie vojny kde umelec dorába na zviera zbraň. Záberu nás neinšpiroval iba dorobením nejakého objektu na zviera, ale koncept zmeny mierky. To viedlo k plánu docieľiť podobný efekt ako vo filmoch Godzilla alebo Pacific Rim. Pri pôvodnom koncepte sme počítali so Slimákom africkým ale keďže je ťažké jedného zohnať, použili sme korytnačku. Ďalším prvkom vo filme je ekológia. Je to teraz rozšírená téma, nechceli sme ju však ťahať do stredobodu pozornosti, ale aby dopĺňala príbeh a motiváciu hlavnej postavy.

Pri realizácii projektu som sa nesústredil primárne na modelovanie 3d objektov ale na ostatné aspekty výroby a integrácie. Podobným smerom som koncipoval aj predošlé menšie cvičenia, aby som si pripravil postupy pre finálny bakalársky film. Veľká výhoda bola postprodukčná koprodukciami, nielen rovnomernejšie rozloženie práce ale aj samotná skúsenosť s prácou v postprodukčnom tíme a manažovaním pracovného pipeline. Pri procese tvorby sme identifikovali a vytvorili plán na elimináciu viacerých chýb a nedostatkov, čo nám je veľmi užitočné keďže magisterský projekt plánujeme robiť v rovnakej zostave.

# 1 Stručná história CG, vývoj a využitie textúr a materiálov v 3D priestore

## 1.1 Definícia CG

Počítačová grafika (Computer Graphics - CG, Computer-generated imagery - CGI) je odvetvie Informatiky ktoré sa zaoberá generovaním obrazu pomocou počítača.

Odbor VFX aj herného dizajnu stojí na technologických benefitoch ktoré existujú aj vďaka vývoju počítačovej grafiky. Preto chcem trochu rozobrať históriu a princípy CG s tým že sa budem sústrediť na textúry ktoré sú dôležitá súčasť 2D aj 3D pipeline.

## 1.2 Stručná história rannej CG

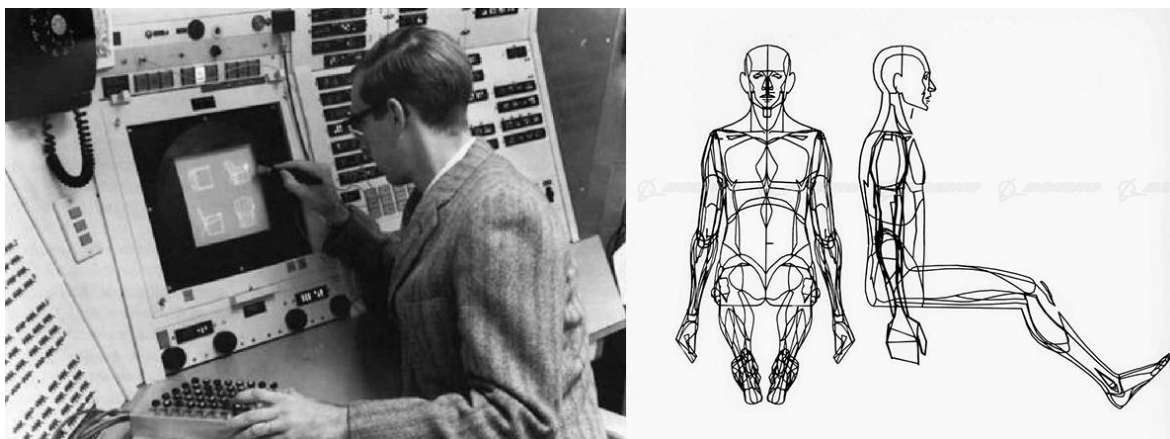
V tomto odseku sa posnažím veľmi stručne zhrnúť kľúčové body v rannom vývoji CG.

### 1.2.1 CAD, Sketchpad, prvé praktické využitia CG

CG na seba upriamilo pozornosť v 50. rokoch kedy vedci v Messachusetts Institute of Technology (MIT) vytvorili frézovacie nástroje ovládané počítačom. Nejednalo sa síce priamo o vykresľovania CGI v počítači ale vytvorili základ pre orientáciu v 3d priestore. Technika dostala názov CAM alebo computer-aided manufacture. Po tom ako sa technológia osvedčila, netrvalo dlho kým sa objavila technológia ktorá sa stala súčasťou procesu dizajnu – CAD (computer-aided design). Významný nástroj založený na CAD bol Sketchpad v ktorom vznikli prvé CG 3d objekty. Taktiež na ňom vznikol krátky film Sketchpad ktorý mal predstaviť jeho možnosti. Jednalo sa pravdepodobne o prvé animácie vo virtuálnom 3d priestore. Hardvér bol v 50-60 rokoch ešte „nevyvinutý“ a veľmi drahý, práca v 3d priestore bola zložitá a pomalá. Postupne s technologickými inováciami však bolo možné pracovať aj s prvými grafickými perami čo proces výrazne uľahčilo. Prvé skutočne užitočné využitie CGI bolo v leteckom priemysle na prvé letecké simulátory. Významným príkladom je práca Williama Fattera pre spoločnosť Boeing. Pracoval na vývoji ergonomií interiéru lietadla, vytvoril jednu z najikonickjších obrazov rannej CG – Postavu sediaceho človeka, známu pod názvom Boeing Man.<sup>1</sup>

---

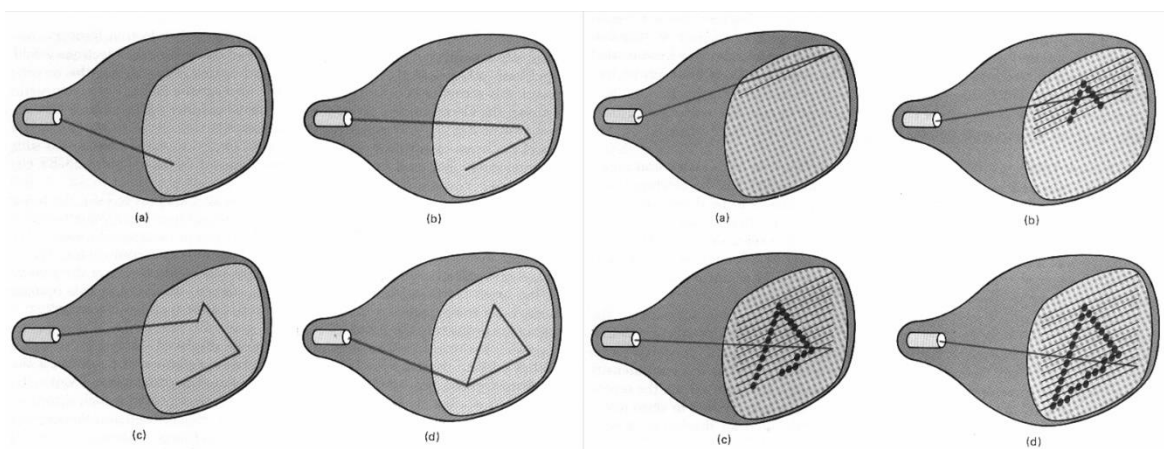
<sup>1</sup> Special Effects, The History and Technique – Richard Rickitt, ISBN: 978-1-84513-130-2



1 - Sketchpad a tzv. Boeing Man

### 1.2.2 Vektor a raster, prvé využitie vo filmoch

Spočiatku bola na vykresľovanie 3d objektov použitá rastrová metóda, šlo o spájanie bodov v 3d priestore s rovnými čiarami, jednoduchý linkový mesh. Táto technológia neumožňovala vykresľovanie povrchov. Pre rastrovú metódu bol hardvér dostatočne výkonný až v 70. rokoch. Pri rastrovom vykresľovaní vieme modifikovať jednotlivé pixely/body na obrazovke čo podalo základy vykresľovania povrchu.



2 - Vektor a raster

Prvé rastrové grafiky vznikali pri produkcii reklám od spoločností ako Robert Abel and Associates. Postupne sa jednoduché CGI začali dostávať aj do filmov ako napríklad Westworld (1973) nominovaného na Academy Award, a jeho pokračovanie Wutureworld (1976). Jednoduché vektorové grafiky boli použité aj vo filme Star Wars (1977), v období jeho vzniku ešte filmový priemysel nebol veľmi otvorený CG. Pri produkcii filmu The Empire Strikes Back (1980) vznikol koncept s fotorealistickým modelom vesmírnej lode X-wing a previzualizácie skupiny lodí letiacej vesmírom. Pre výsledný film sa kvôli

finančným dôvodom tento koncept nerealizoval, avšak podnikol jeho režiséra Georga Lucasa založiť si vlastnú divíziu pre tvorbu CG – Pixar.<sup>2</sup>



3 - Westworld 1973 CG

#### 1.2.2.1 Tron

Tron (1982) bol prvý film ktorý obsahoval celé sekvencie animovaného CG. Je to dielo animátora Steveny Lisbergera, ktorý spojením tradičnej animácie a CG rozprával príbeh situovaný v arkádovej hre. Veľká časť prostredia v ktorom sa film odohrával bola vytvorená v počítači, jednotlivé časti celku boli na výrobu rozdelené štyrom spoločnosťami. Robert Abel and Associates pracovali hlavne s vektorovou grafikou, vytvorili titulnú sekvenciu a moment kedy hlavný postava vstúpi do simulácie. Digital Effects Inc. Vytvorili digitálnu postavu The Bit a krátku sekvenciu na začiatku filmu. Tripple-I a MAGI vyprodukovali spolu 16 minút rastrových renderov.

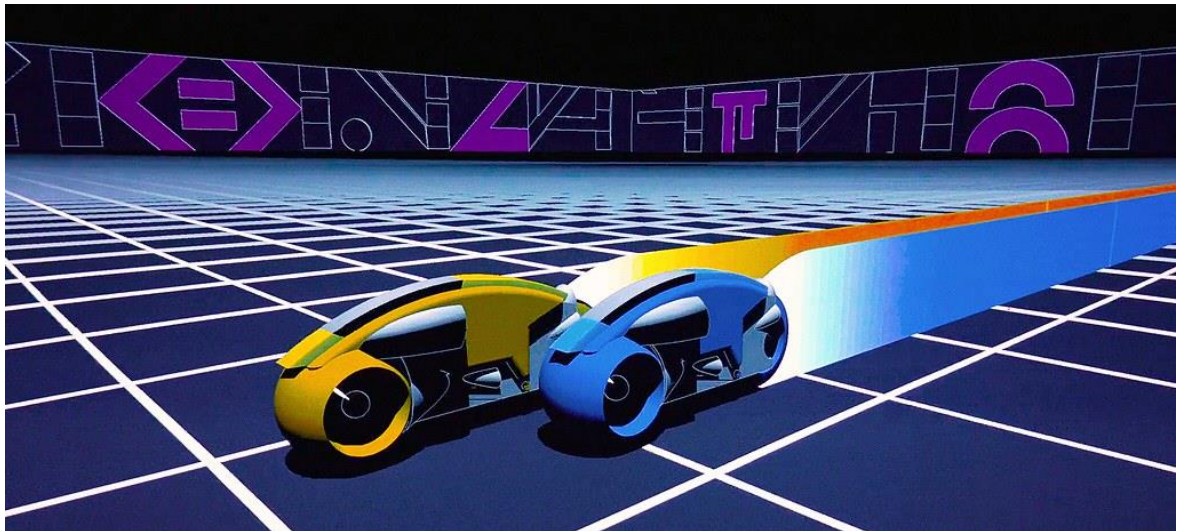
Tripple-I použili pri výrobe modelov na tú dobu veľmi sofistikovanú metódu. Vytvorili si detailné blueprints objektov, upevnili si ich na obrazovku počítača a následne jednoduchou myšou a kurzorom doňho zadali pozície jednotlivých vertexov, ktoré navzájom pospájali do jedného celku – 3d objektu.<sup>3</sup>

---

<sup>2</sup> A Critical History of Computer Graphics and Animation

<https://web.archive.org/web/20070405172134/http://accad.osu.edu/~waynec/history/lessons.html>

<sup>3</sup> Special Effects, The History and Technique – Richard Rickitt, ISBN: 978-1-84513-130-2



4 - Tron 1982 Light-Cicles

### 1.2.3 University of Utah

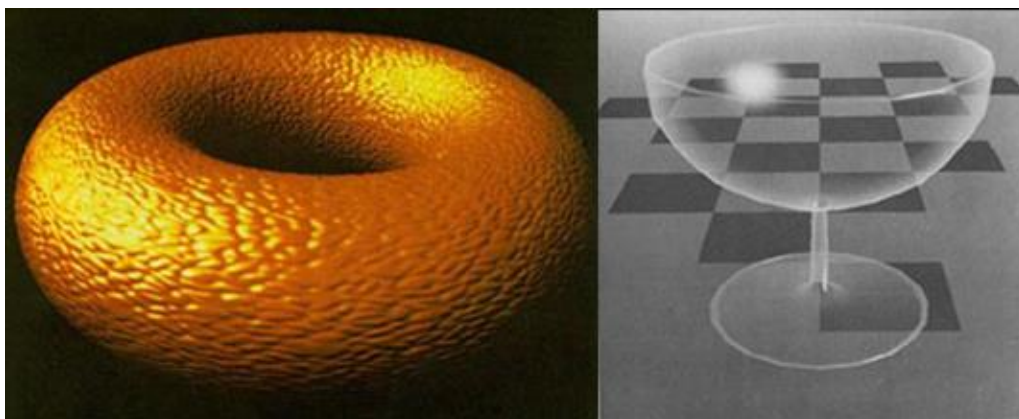
University of Utah má na svedomí najpokrokovejšie grafické programy a systémy, veľa z ich princípov využívame dodnes. Stavali na základoch od MIT zo 60. rokov (CAD/CAM), učinili objavy a pokroky v oblastiach ako Rendering, Mapovanie textúr, Tiene, Antialiasing, Shading, Lighting a mnohých ďalších. Významný prínos tzv. Utahskej skupiny bol Utah Raster Toolkit – súbor programov určených na manipulovanie a skladanie rastových 3d renderov vyvinutý Spencerom Thomasom, Rodom Bogartom a Johnom Petersonom.

Pre vizualizovanie 3d objektov boli významné pokroky v Shadingu a Texture mapingu. Prvé použitie bump mapovania (Jim Blinn), mapovanie jednoduchých textúr, alebo transparentného shadingu Phong metódou. Niektoré mená ako Lambert, Blinn a Phong nám môžu byť povedomé, aj v dnešných 3d programoch sa nachádzajú základné shadery pod týmito názvami.<sup>4</sup>

---

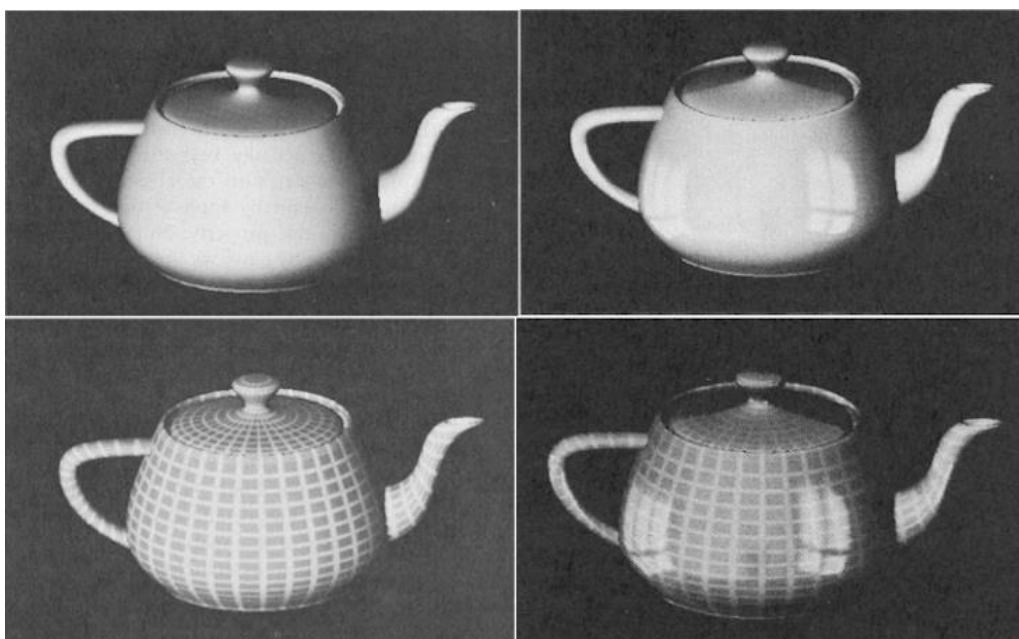
<sup>4</sup> A Critical History of Computer Graphics and Animation

<https://web.archive.org/web/20070405172134/http://accad.osu.edu/~waynec/history/lessons.html>



5 - John Blinn bump mapa a Phong shading na priehľadnom pohári

Na univerzite vznikol aj známy „Utah teapot“ (alebo Ewell teapot), model čajníka ktorý sa stal štandardným referenčným objektom. Vytvoril ho Martin Newell v 1975 a bol to jeden z prvých objektov vytvorených pomocou beziérových kriviek. Čajník bol a je používaný dodnes na referenčné testy technológií, ale aj ako ikona Počítačovej Grafiky.<sup>5</sup>



6 - Utah Teapot

---

<sup>5</sup> <https://nautil.us/blog/the-most-important-object-in-computer-graphics-history-is-this-teapot>

### 1.3 Textúry

V tejto časti teoretickej práce vysvetlím jednotlivé typy textúr 3D objektov, ich funkciu a využitie či už v hrách alebo VFX. Ako textúru vieme považovať každý obrazový súbor ktorý definuje vzhľad virtuálneho objektu/plochy. Ja sa však budem sústreďovať na 3D priestor. Najprv však opíšem niekoľko dôležitých pojmov spojených s textúrami.

#### 1.3.1 Definícia textúr

Textúra je 2D objekt, obraz definovaný pomocou hodnôt jednotlivých podčastí, siete pixelov ktoré majú vlastné atribúty. Pixel je bod na ploche ktorému pripisujeme pozíciu, rozmery, svetelné, respektíve farebné hodnoty a bitovú hĺbku.

#### 1.3.2 UV mapovanie a textúrovanie

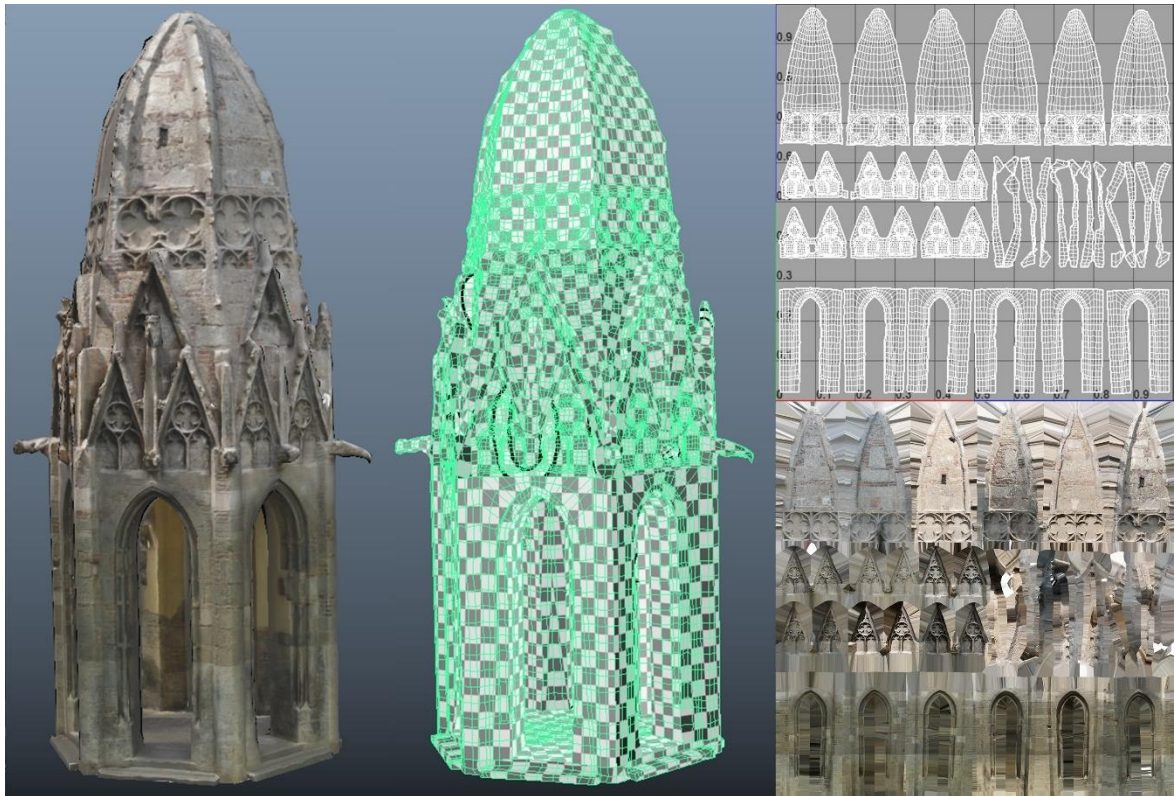
UV mapovanie je proces pri ktorom pripravíme hotový model na pridelenie textúr. Dá sa nad tým uvažovať ako nad reverzným skladaním papierového modelu. Miesto toho aby sme vyrezávali objekt z papiera, ohýbali a skladali ho do 3D objektu tak narezávame 3D objekt aby sme ho vedeli čo najrovnomernejšie rozprestrieť na 2D plochu. Tým docielime to aby sme vedeli 3D objekt „obaliť“ 2D textúrou. Inak povedané dostávame model z trojdimenzionálneho priestoru definovaného stranami X, Y a Z do dvojdimenzionálneho priestoru definovaného stranami U a V (preto sa to volá UV mapovanie).

UV mapovanie je predpoklad ku optimálnemu textúrovaniu, máme viacero metód ako následne objekt „obaliť“ textúrami.

Jednou z možností je nahrať obrazový súbor a v UV editore upraviť pozície uv máp aby textúra sedela správne. Je to rýchle riešenie pre pre-vizualizácia alebo jednoduché súvislé plochy (napríklad tehelná stena). Avšak tu nemáme veľa možností, najefektívnejšie je použiť softvér určený na textúrovanie ako napríklad Allegorithmic Substance Painter alebo Autodesk Mari. Tie nám ponúkajú veľkú škálu nástrojov a spôsobov textúrovania.

Existujú viaceré spôsoby textúrovania pri ktorých UV mapy nie sú potrebné. To odstráni jednu časť výrobného procesu assetu a ušetrí čas ale majú aj svoje nevýhody – menšia flexibilita pri práci a taktiež menšie možnosti kompatibility.





7 - UV mapovanie

### 1.3.2.1 Projekcia

Pri textúrovaní Môžeme použiť projekciu. Pri nej premietame 2D obraz na 3D objekt z určitej strany. Projektovať môžeme viacero obrazov z viacerých strán naraz, poprelínať ich do jednej súvislej textúry. Táto technika je užitočná napr. pri textúrovaní ľudskej hlavy.



8 - Projekcia textúry cez kameru

### 1.3.2.2 Procedurálne textúrovanie

Procedurálne Ďalej používame 3D procedurálne textúry nad ktorými sa dá uvažovať ako nad objektom ktorý vyplňa celý priestor ale je viditeľný iba na mieste kde sa pretína s 3D



objektom. Čiže vlastne ide o prierez v priestore, podobne ako keď prepílime kmeň stromu a na priereze vidíme jeho štruktúru.

Všetky spomenuté typy textúrovania objektu sú používané pri tvorbe herných modelov aj VFX. Existuje ešte jeden dôležitý spôsob „farbenia“ objektov, hlavne pre herný dizajn.

### 1.3.3 Vertex paint

Farbenie vertexov (bodov v 3D priestore, základným jednotkám z ktorých sa skladá polygónový objekt) má blízko ku textúrovaniu a pri tvorbe textúr sa aj používa ale patrí do inej kapitoly. Prináša vysokú mieru flexibility aj bez UV máp ale detailnosť „malby“ závisí od hustoty polygónov na samotnom objekte. Väčšinou potrebujeme tú hustotu hodne vysokú čo vyžaduje relatívne vysoký výkon počítača. Pre herný dizajn je vertex paint špeciálne dôležitý keďže nepridáva takmer žiadny nápor na procesný výkon, textúry sú tiež veľké súbory v pomere ku 3d modelom a ostatným komponentom scény, vertex paint tento problém eliminuje. Vertex paint sa dá prekonvertovať, respektíve vyprojektovať na 2D textúru.

### 1.3.4 PBR a Non-PBR

PBR (Physical-based rendering) je spôsob vykreslenia vlastností povrchu objektu, ktorý sa snaží priblížiť realistickým výsledkom v reálnom čase, používa pritom iný spôsob definovania vlastností svetla. Je veľmi kompaktný a univerzálny, preto je tento spôsob ideálny na tvorbu hier. Non-PBR taktiež zahŕňa spôsoby rendrovania ktoré sa snažia zreplikovať vlastnosti svetla vo virtuálnom prostredí. PBR vie byť náročný na výkon ale pri správnej optimalizácii je na rozdiel od Non-PBR vhodný na real-time rendering.

### 1.3.5 Dôležité pojmy a atribúty obrazových súborov

#### 1.3.5.1 Obrazové kanály

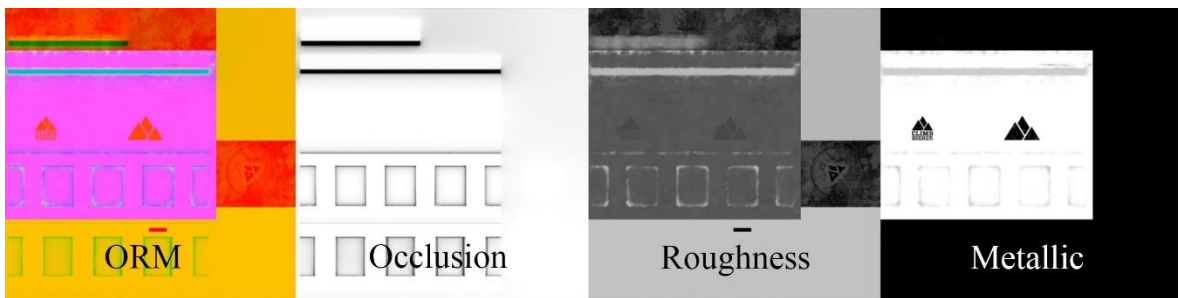
Farebnými kanálmi definujeme primárne farebnú hodnotu obrazu. Delíme ich do RGB spektra, čiže červený, modrý a zelený. Každý kanál má obraz s hodnotami intenzity (od absolútne čiernej po absolútne bielu) a s ich súčtom vieme vypočítať farebný obraz.

Existujú aj iné typy kanálov, často sa stretávame s alfa kanálom ktorý definuje opacitu, respektíve viditeľnosť jednotlivých pixelov (čierny = neviditeľný resp. priehľadný, biely = maximálna viditeľnosť, resp. nepriehľadný). Textúry nemajú vždy tri kanály práveže často používajú iba jeden (grayscale). Troj-kanálové sú napríklad Diffuse a Normal mapy, jednokanálové grayscale mapy sú Roughness/Glossiness, Bump, Metaliness, AO a ďalšie.

Grayscale textúry nemusia byť nutne rozdelené do viacerých súborov, pri ORM textúrach je každý kanál z RGB použitý pre iný účel (R – Ambient Occlusion, G – Roughness, B – Metallic. To značí aj skratka ORM – Occlusion Roughness Metallic). Druhý príklad je z Unity kde sa v alpha kanáli Specular mapy zapisuje Smoothness textúra. Toto mixovanie textúr je efektívny spôsob ako znížiť veľkosť dát.



9 - RGB kanály



10 - ORM textúra

### 1.3.5.2 Rozlíšenie

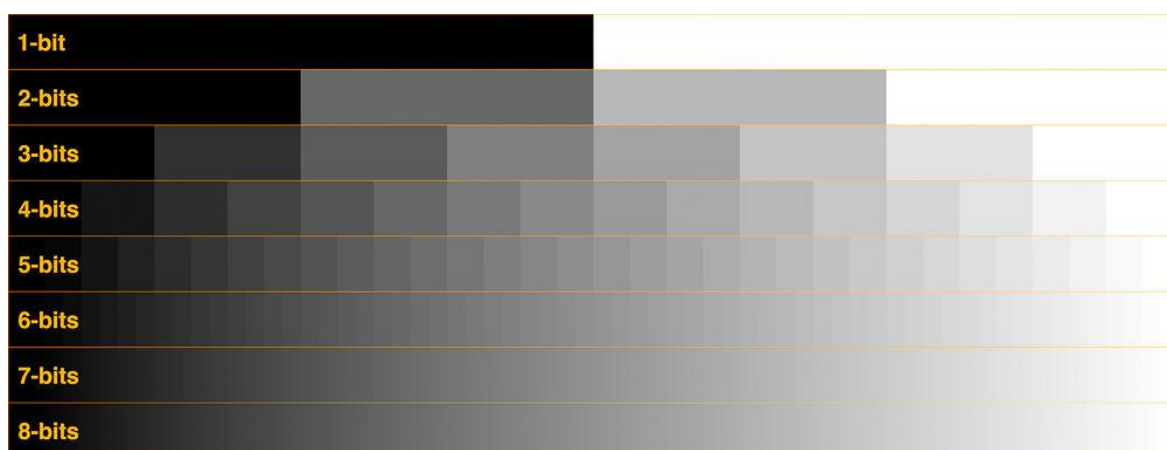
Rozlíšenie obrazu definuje aké množstvo bodov (resp. pixelov) pokrýva plochu obrazu. Čím väčšie rozlíšenie, tým detailnejšie objekty vieme vykresliť. Podľa rozlíšenia vieme vypočítať aj pomer strán obrazu (výška a šírka, väčšinou sa udáva v zlomku, napríklad 1:1, 16:9 alebo 2.35:1). Avšak keď počítame pomer strán obrazu, spoľahlivejšie ju vieme zdefinovať fyzickými dĺžkami strán pretože aj jednotlivé body/pixely môžu mať iný pomer strán ako rovnostranný (1:1). Tým sa vie zredukovať množstvo dát potrebných na uloženie obrazu, stráca sa však istá časť presnosti vyobrazenia. Pri textúrach sa však najčastejšie používa rovnostranný pixel (1:1) a to v rozlíšení v násobku 2, čiže 2x2 (resp. 2, 4, 8, 16, resp. 1024, 2048, 4096 a ďalšie, pri každom stupni exponenciálne stúpa množstvo dát potrebných na zapísanie súborov). Násobky dvoch sa používajú pretože počítače fungujú na binárnej sústave (0 a 1) a grafické karty s nimi vedú efektívne pracovať.



11 - Príklady rozlíšenia

### 1.3.5.3 Bitová hĺbka

Bitová hĺbka je počet bitov (binárny systém) ktoré definujú jednotlivé pixely. To nám určuje ako presná informácia vie byť uložená. Každý bit v binárnej sústave má dve možné pozície – 0 a 1. V jednobitovom obrazovom súbore by to znamenalo že každý pixel je buď biely (1) alebo čierny (0). Keď pridáme viac bitov, exponenciálne zvyšujeme možnosti ako definovať hodnotu pixelu. Dnes sa väčšinou stretujeme s 8bit obrazovými súbormi keďže majú najlepší pomer veľkosti súborov a rozlíšenie stupňov. Kým 1bit má 2 hodnoty ( $2^1 = 2$ ), 2bit 4 ( $2^2 = 4$ ), tak 8bit má už 256 možných hodnôt ( $2^8 = 256$ ). Ďalšími najpoužívanejšími sú 16bit ( $16\text{bit} = 2^{16} = 65,536$ ), a 32bit float ( $32\text{bit} = 2^{32}$  ich má až 4,3 miliardy (4,294,967,296)) tie sa však používajú takmer výhradne v procese výroby či už textúr pre 3D modely (vo VFX sa používajú priamo aj 32bit textúry, v hrách sú väčšinou 8bit kvôli optimalizácií) alebo pri gradingu a compositingu kedy vyššia bitová hĺbka (a tým aj väčšie množstvo dát) umožňuje väčšiu flexibilitu pri práci.



12 - Vizualizácia bitovej hĺbky

Pri bitovej hĺbke farebného obrazu nehovoríme iba o jednom sete hodnôt ale o troch keďže každý kanál (R, G a B) je sám o sebe monochromatický a má svoj vlastný set hodnôt. Čiže napríklad 8bit rgb obrázok sa niekedy nazýva aj 24bit aj keď to nie je pravý 24bit ( $24\text{bit} = 2^{24} = 16,7\text{mil}$ ) ale je to súčet 8bit kanálov, resp. súčet bitov potrebných na uchovanie všetkých kanálov ( $3 \times 8\text{bit} = 3 \times 2^8 = 768$ ). Každý ďalší kanál pridá ďalší set 8bit informácií, napríklad alfa kanál a ďalšie.

#### 1.3.5.4 Formáty

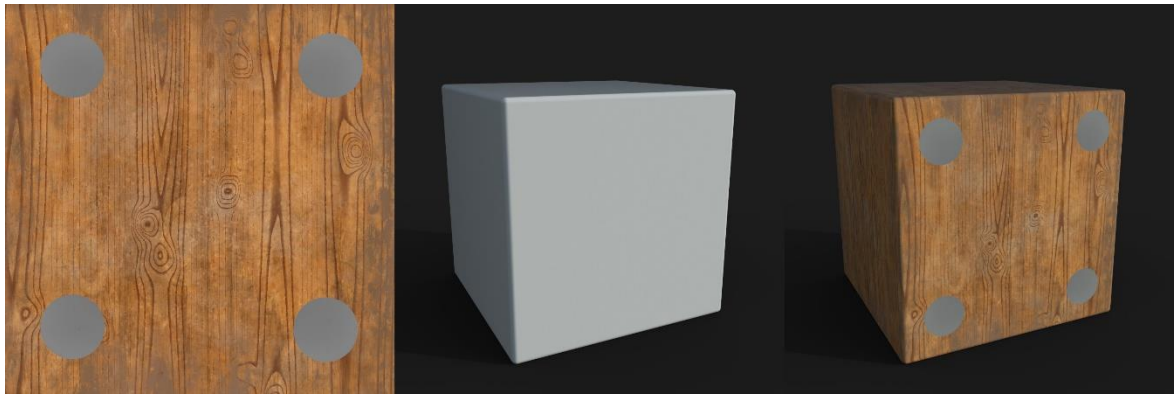
Vo VFX aj Hernom dizajne sa stretávame s viacerými obrazovými formátmi. Obrazový formát v skratke určuje ako sú surové obrazové dáta spracované, stlačené, interpretované počítačom, resp. softvérom a aké informácie obsahujú. Najčastejšie sa stretávame s png, targa, tiff, exr, a ďalšími. Každý má svoje ideálne využitie, kým napríklad png uchováva 8bit rgb a alfa informácie s istou mierou kompresie a malými veľkosťami súborov, exr uchováva 16bit alebo 32bit a okrem rgba v ňom vieme uchovať aj ďalšie kanály (pre postprodukciiu napríklad depth, matte, motionvector a množstvo ďalších, vieme definovať aj vlastné kanály). To prichádza s cenou veľmi veľkých súborov.

#### 1.3.6 Základné typy textúr vo VFX aj Hernom dizajne a ich vlastnosti

Textúry sú jeden z hlavných pilierov na ktorých stojí VFX a Herný dizajn. Sú to obrazové súbory (väčšinou s pomerom strán 1:1 a rozlíšením  $2^n$ ) ktoré manipulujú a určujú ako objekty interagujú so svetlom. Textúry dodávajú objektu výzor, realizmus, charakter, niektoré taktiež vedú výrazne zoptimalizovať výzor modelu v pomere s výpočtovým výkonom potrebným na zobrazenie rovnakých detailov ako pri modeli s vyššou hustotou polygónov. Teraz vysvetlím funkciu a využitia najpoužívanejších textúr.

##### 1.3.6.1 Diffuse

Diffuse textúra je asi prvý typ textúry s ktorou sa dostaneme do kontaktu keď sa učíme o 3D modelovaní a textúrovaní. Táto textúra uchováva farebné informácie na ploche modelu (rozptylová farba). Farbu na objekte vnímame tak že keď dopadne biele svetlo na povrch objektu tak časť vlnových dĺžok svetla povrch pohltí a časť rozptýli. To naše oko, respektíve mozog interpretuje ako farbu. Tento proces sa vo virtuálnom prostredí simuluje práve pomocou Diffuse textúry. Diffuse mapy bývajú 8bit v hrách a 8bit alebo 16bit vo VFX.



13 - Diffuse textúra

### 1.3.6.2 Roughness/Glossiness

Roughness/Glossiness mapy sú textúry určujúce rozptyl svetla od povrchu objektu. Sú to monochromatické textúry kde čierna je nulová hodnota a biela je maximálna hodnota (to platí poväčšine, napríklad v unity sú tieto hodnoty obrátené). Obidve textúry robia prakticky to isté iba majú obrátené hodnoty. Ktorú používame záleží podľa softvéru a pipeline ale vizuálny výsledok je rovnaký. Pri nulovej „drsnosti“ je výstupný uhol svetla dopadajúci na objekt rovnaký ako vstupný. Keď zvyšujeme drsnosť tak sa výstupný uhol začne meniť, čiže svetlo sa začne viac rozptyľovať a objekt začne byť „matný“.

Pre jednokanálové monochromatické textúry sa vo vfx používajú väčšinou 16bit alebo 32bit súbory kvôli väčšiemu rozsahu a rozlíšeniu hodnôt.



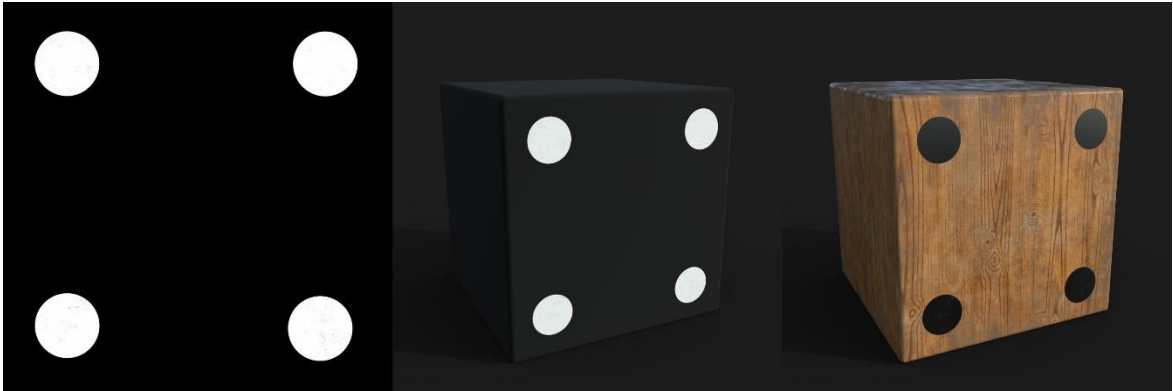
14 - Roughness textúra

### 1.3.6.3 Metallic

Metallic je taktiež monochromatická textúra ale definuje na ktorých miestach a ako veľmi metalický je objekt, respektíve ktoré časti majú simulovať kov. Na miestach kde je textúra čierna, tam sa použije iba Diffuse mapu farbu objektu. Tam kde je textúra biela sa použijú informácie z Diffuse mapy na intenzitu a farbu odleskov z objektu, zároveň sa na tom



mieste rozptylová farba (Diffuse) stiahne do čiernej lebo už nie je potrebná. Detaily z metalických odleskov ju nahradia.



15 - Metallic textúra

#### 1.3.6.4 Specular

Specular textúry nám definujú podobné vlastnosti ako Metallic. Určujú na ktorom mieste povrchu a koľko svetla sa pri dopade odrazí alebo pohltí. Čím spekulárnejší je povrch, tým menej difúzných odrazov je zastúpených. To nám vraví Pravidlo zachovania energie – súčet výstupnej energie (v tomto prípade svetla) nemôže byť väčší ako súčet vstupnej energie.

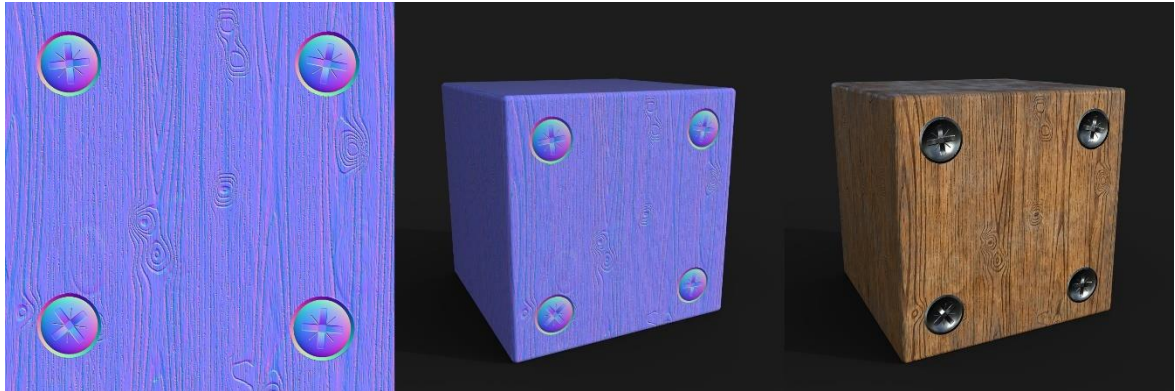
#### 1.3.6.5 Normal

Normal mapa je textúra ktorá sa využíva takmer výhradne v PBR workflowe, je to jedna z kľúčových textúr ktoré umožňujú dosiahnutie vysokého detailu v hrách s minimálnou záťažou na výpočtový výkon. Určuje nám smer normálov povrchu.

Normála je čiara/lúč/vektor ktorý je kolmý na povrch a určuje prednú/viditeľnú stranu polygónu, respektíve ktorým smerom by mal predvolene odrážať svetlo.

Normálová mapa je druhá textúra ktorá nemá iba jeden monochromatický kanál. Keď sa pozrieme na normálovú mapu vidíme červenú, zelenú aj modrú. Tie reprezentujú tri priestorové osi – X, Y a Z (štandardne X = červená, Y = zelená, Z = modrá, v niektorých programoch sú poprehadzované). Na povrchu predstavuje Z kolmicu (X a Y sú vertikála a horizontála), normálová mapa ktorá by nemenila normály by bola čisto modrá. Červená a zelená nám určujú aké vyosenie normálovej kolmice vy malo nastať, to nám vytvára „tvar“ povrchu.

Normal mapy sú užitočné na prenášane detailov na low-poly modely vygenerované z high-poly modelov s minimálnou stratou na výkone.



16 - Normal textúra

### 1.3.6.6 Height

Height mapa sa dá použiť dvoma spôsobmi.

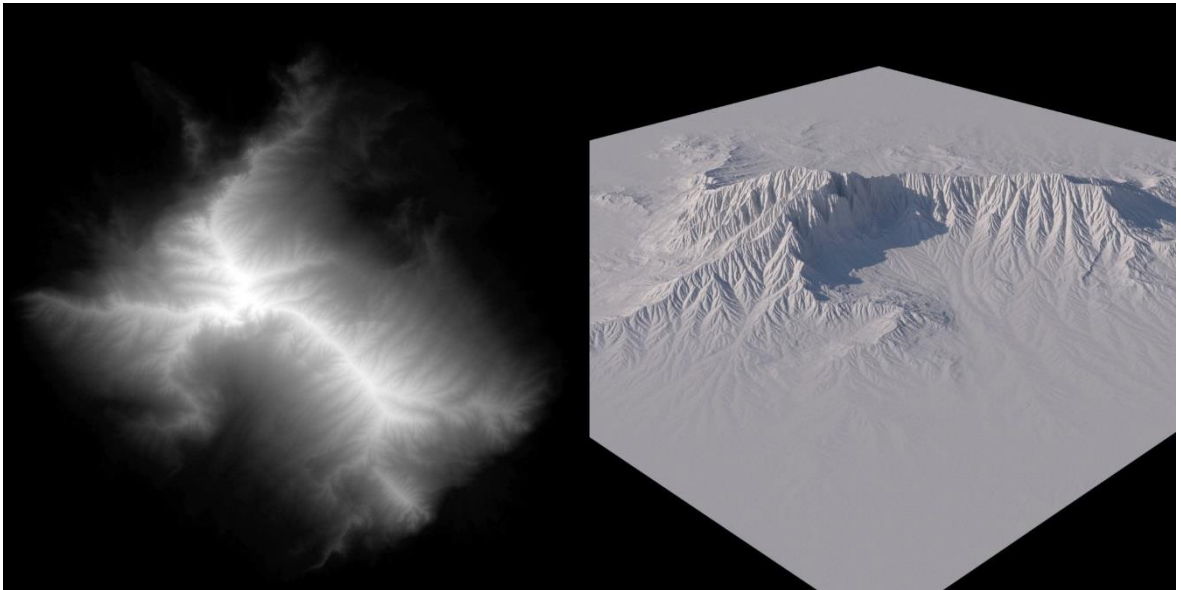
Prvý je ako Bump mapa ktorá funguje podobne ako Normal mapa tým že zvýši detail povrchu bez zmeny topológie. Na rozdiel od nej je však iba monochromatická. Je interpretovaná ako zvýšenie a zníženie povrchu, ako reliéf (biela – maximálna výška, čierna – minimálna výška, 50% šedá – bez zmeny). Používa sa hlavne na drobné detaily, štruktúru ako napríklad póry na koži. To preto lebo keď sa na povrch nepozerať priamo spredu môžu vznikáť neprirodzené interakcie so svetlom. Preto je nevhodný na väčšie zmeny v povrchu. V takom prípade sa Height mapa využije ako Displacement mapa.



17 - Bump textúra

Displacement mapy, podobne ako pri Bump mapách, využívajú hodnoty v textúrach nad a pod 50% šedou na to aby určili ako bude objekt interagovať so svetlom. Rozdiel je však vtom že priamo ovplyvňujú (a zároveň zvyšujú) topológiu modelu, resp. fyzicky vytŕhajú alebo zatláčajú povrch modelu. Keby sme sa pozreli na objekt s Normal alebo Bump

mapami z boku, videli by sme štruktúra sa nemení ale pri Displacemente vidíme aj zmeny v štruktúre z profilu. Displacement mapy sú prevažne využívané vo VFX pretože pridávaním topológie dramaticky zvyšujeme nároky na výkon systému. V hrách ich vidíme napríklad pri tvorbe terénu. Vo VFX majú Displacement mapy oproti priamemu modelovaniu hustého meshu výhodu v tom, že nemusíme pracovať priamo s veľkou hustotou polygónov. To je špeciálne užitočné pri rigovaní a animácií.



18 - Displacement textúra

#### 1.3.6.7 Opacity

Opacity nám určuje ako veľmi je objekt priehľadný. Dá sa porovnať ku funkcii Alfa kanálu v obraze. Miesta s čiernou farbou na textúre majú maximálnu priehľadnosť (neviditeľné) a s bielou maximálnu viditeľnosť. Opacity mapy sú veľmi užitočné hlavne na plochých objektoch so zložitými obrysami, napríklad listami. Miesto toho aby sme museli ručne vymodelovať hrany so stovkami polygónov, stačí nám jeden s Opacity mapou. To enormne zníži potrebný výkon na spracovanie. Preto sa Opacity mapy využívajú extenzívne aj pri tvorbe herných assetov. Opacity mapy nie sú vhodné čisto iba na vyrezávanie objektov, keďže nemusia byť maximálne kontrastné (iba čisto čierna a čisto biela) môžu byť použité na polopriehľadné objekty, napríklad farebné sklo.





19 - List s Opacity mapou

#### 1.3.6.8 Ambient occlusion

Ambient occlusion je ďalšou textúrou ktorá sa používa takmer výhradne pri PBR, respektíve pri tvorbe hier. Je to výraz ktorý popisuje kontaktné tieň medzi objektami spôsobené ambientným svetlom, je to fenomén ktorý vie výrazne zvýšiť realizmus scény. Dosiahneme ho tak že scénu nasvietime uniformnou sférickou mapou, výslednú distribúciu tieňov vieme vypiecť ako textúru. AO textúra sa vie použiť na procedurálnu tvorbu ďalších textúr (pre hry aj VFX). Počítanie kontaktných tieňov je náročné na výpočtová čas, čo je pre tvorbu hier veľmi dôležité. Ambient occlusion sa dá už celkom efektívne počítať aj v reálnom čase ale kde sa dá, do statických objektov sa AO vypečie priamo do difúznej textúry (na objektoch ktoré sa nepoužijú na real-time zobrazenie sa to takmer nikdy nerobí). To pridá väčšinu vizuálnych benefitov AO bez nároku na výpočtový výkon. Na miestach kde sa dva objekty medzi sebou posúvajú/animujú sa to vypiecť nedá keďže AO textúra je statická.

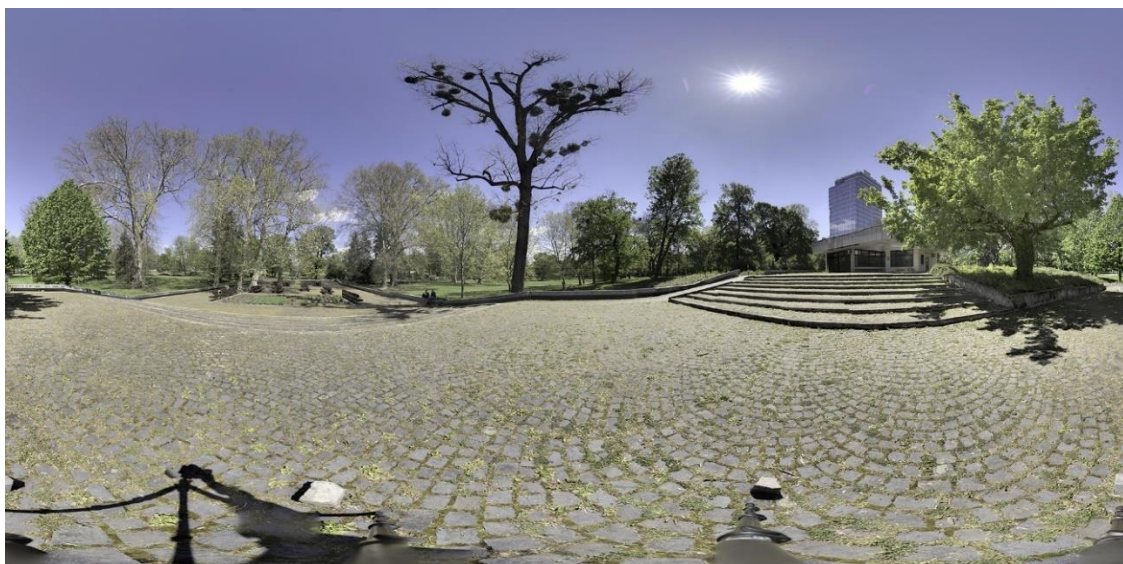


20 - Ambient occlusion

### 1.3.6.9 HDRI mapy, environment lighting

Na environment lighting sa používajú 2D textúry ale ich funkcia je trochu iná. Kým ostatné spomenuté textúry ovplyvňujú reakciu objektu na svetlo, tieto textúry sú využívané ako samotný svetelný zdroj. Väčšinou sú používané na nasvietenie celej 3D scény – sú obalené okolo gule v ktorej sa nachádza scéna (niečo ako prevrátený glóbus) a svietia na objekty vo vnútri zo všetkých strán. Sú veľmi efektívny spôsob ako dosiahnuť realistické a dynamické osvetlenie relatívne jednoduchým spôsobom.

Vo VFX používame HDRI mapy (High dynamic range image). Sú kľúčovým spôsobom ako dosiahnuť realizmus v 3D, špeciálne keď dosádzame objekty do natočených záberov. Pri natáčaní si na mieste kde sa neskôr v zábere dosadí 3D objekt nafotíme sférickú mapu. Po spracovaní fotografií dostaneme HDRI mapu, ktorá veľmi verne replikuje svetelné podmienky ktoré boli v reálnom priestore pri natáčaní.



21 - HDRI mapa

Kvalitné HDRI mapy sú zapísané ako 32bit ktorý potrebujeme na dosiahnutie vysokého dynamického rozsahu (rozsah medzi úplne bielou a úplne čiernou). Ani moderná fotoaparáty nedokážu v jednej fotografii zachytiť taký vysoký rozsah ako je potrebný na správne nesvietenie. Napríklad keď potrebujeme vo svetelnej mape slnko, aj keď výrazne znížime expozíciu fotografie až kým je nebo takmer úplne čierne, slnko je stále výrazná svetelný objekt na oblohe. Preto sa pri fotení použije tzv. bracketing. Je to proces pri ktorom sa po jednom stlačení spúšte odfoťí séria rovnakých fotografií, pri každej sa však mení doba uzávierky. Tak dostaneme okrem optimálnej expozície aj veľmi tmavé aj svetlé fotografie. Tie vieme v postprocesse spojiť do jedného 32bit obrazu ktorý uchováva svetelné informácie všetkých fotografií.



22 - Rozsah kvalitnej HDRI mapy

HDRI mapy nemusia byť vždy použité ako svetelný zdroj. Vieme ich využiť aj iba ako textúru ktorú vidno v odleskoch lesklých materiálov, napríklad vyleštenom kove (na to nie je potrebný taký vysoký dynamický rozsah, väčšinou postačuje 8bit textúra).

#### 1.4 Tvorba PRB textúr pomocou povrchového skeneru

Túto tému spomeniem iba v skratke keďže sa jej mám v pláne venovať hlbšie v Magisterskom ročníku, aj s praktickým výstupom.

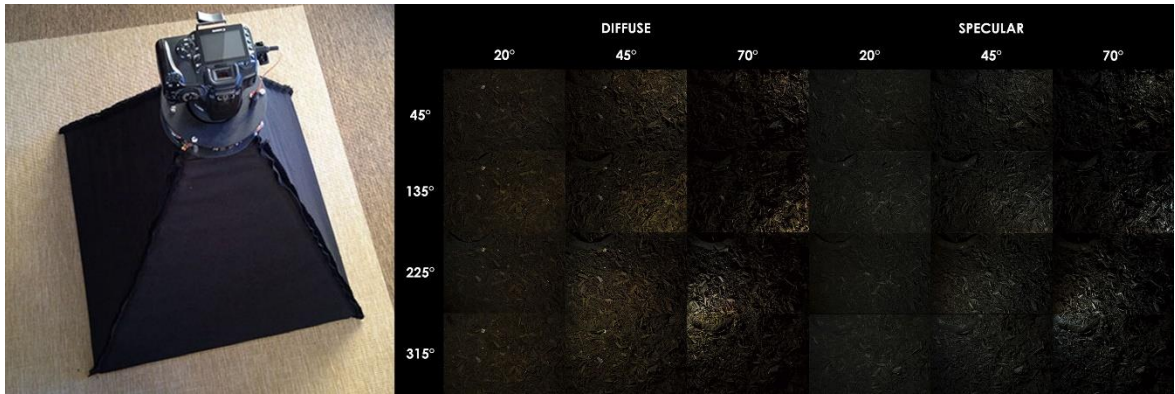
Jedná sa o proces pri ktorom vieme relatívne rýchlo a jednoducho vytvoriť virtuálny materiál ktorý kopíruje vlastnosti reálneho povrchu. V procese vytvárame set fotografií z jedného zorného uhla pričom manipulujeme so spôsobom a smerom nasvietenia povrchu.

Skener väčšinou pozostáva z objektu, resp. tela kužeľovitého tvaru ktorý dovnútra neprepúšťa svetlo, širší koniec je položený na skenovanej ploche a na užšom konci je upevnený fotoaparát nasmerovaný na skenovanú plochu. Na vnútornej strane tela sú umiestnené LED svetlá rozmiestnené v pravidelných uhloch, vertikálne aj horizontálne. Každé svetlo sa dá zapnúť a vypnúť zvlášť.

Pri prvej fotografii sa väčšinou zapnú všetky svetlá naraz pričom sa povrch nasvieti rovnomerne zo všetkých strán. Tým získame difúznú textúru. Pred objektív je taktiež nasadený polarizačný filter ktorý vyfiltruje spekulárne odlesky.

Následne sa nafotí set fotografií pričom sa rozsvieti vždy iba jedno svetlo. To spôsobí že povrch je vždy nasvietený iba z jedného uhla. Postupne zapíname a vypíname svetlá po obvode tela, najprv horizontálne a potom vertikálne. Z týchto informácií vieme vypočítať štruktúru povrchu, ktorú prevedieme na normálovú mapu.

Na vytvorenie specular mapy potrebujeme dva sety fotografií. Jeden s polarizačným filtrom a druhý bez. Pri spracovaní fotografií potom odpočítame hodnoty polarizovaných fotografií od nepolarizovaných. Tým vieme izolovať odlesky a vytvoriť z nich specular mapu.



23 - Príklad prototypu skeneru so setom fotografií na spracovanie

Po tom ako spracujeme všetok nafotený materiál máme set PBR textúr ktoré imitujú reálny povrch.

## **2 Project: Trash - Proces tvorby 3D assetov, animácií a integrácie do prostredia v bakalárskom filme**

### 2.1 Anotácia

Project Trash je krátky film kde sa hlavnej postave - vynálezcovi/ekológovi vymknú jeho pokusy spod kontroly. Sledujeme spojenie dôsledkov nesprávneho úsudku, náhody a nedostatku spánku.

### 2.2 Obsah príbehu

Hlavná postava vedca/ekológa trénuje korytnačku s prirobeným robotickým ramenom a košom aby zbierala smeti. Cestou po kávu zmenší svojím vynálezom zväčšovačom/zmenšovačom krabicu od pizze a hodí ju korytnačke do terária. Pohľad na kávu mu vnukne nápad - zväčšiť si ju v tom prístroji. Pokus mu vyjde ale keď ju natešený dvíha šmykne sa mu ruka, káva sa mu rozleje rovno na zväčšovač. Prístroj zaiskrí, zaktivuje sa a trať rovno do korytnačky s ramenom. Po veľkej explózií ostane vedec zaprášený a doráňaný stáť v ruinách svojho laboratória s veľkou dierou v stene. Korytnačka, teraz veľkosti budovy, chodí mestom a zbiera všetko naokolo.

### 2.3 Hardvér a softvér, príprava

Pre plynulý proces výroby filmu bola kľúčová príprava nielen setu a filmovej techniky ale aj postprodukčného hardvéru, počítačov a úložného priestoru, softvéru, licencií a celkového postprodukčného pipeline.

#### 2.3.1 Hardvér

##### 2.3.1.1 Výrobná a postprodukčná technika

Prvý kus techniky ktorý pri výrobe filmu príde na rozum je filmová kamera. Mali sme vypožičanú Blackmagic Ursa Mini Pro 4.6K spolu so setom objektívov Zeiss. Pri produkcii sme využili 15, 35, 85 a 135mm fokálne dĺžky. Materiál bol zaznamenávaný do ProRes 444 čo samo o sebe vyžadovalo približne 500GB úložného priestoru. Pri postprodukcii vzniklo dát oveľa viac, zhruba 4TB čo bolo o niečo viac ako som očakával ale s čistým 3TB diskom v kombinácii s cloudovým úložiskom šla práca relatívne plynule.





24 - Fotografia kamery Blackmagic Ursa Mini Pro 4.6K

Počítač je pri VFX kľúčový kus hardvéru, pred začiatkom bakalárskeho ročníka som si zadovážil nový, pričom som bral do úvahy nápor bakalárskeho projektu. To zahŕňalo multijadrový procesor zameraný na výrazné pracovné zaťaženie, grafická karta s 8GB pamäte pre plynulé textúrovanie a podobné úlohy, 1TB rýchly disk na cache a 4TB na ukladanie dát, a 32 GB RAM (tá veľkosť takmer nebola postačujúca).

#### 2.3.1.2 Svetlá a dodatočný hardvér

Na nasvietenie greencreenu sme použili tri štvortrubicové Kino Flo svetlá a jedno 500W Arri doplnkové svetlo. Ďalšie osvetlenie tvorili stropné svietidlá ktoré sa už na sete nachádzali, niekoľko obyčajných led trubíc a pár malých doplnkových zdrojov spolu s rôznymi farebnými filtrami a difúzormi. Denného svetla z okien sme takmer nevyužili.

Ďalší hardvér, ak nerátame objekty v scéne, zahŕňali modré a 12-metrové zelené plátno, statívy, zvuková technika, fotoaparát a ďalšie doplnkové predmety. Veľmi dôležitý kus hardvéru boli referenčné gule. Tie výrazne zjednodušili integráciu CG objektov do záberov. Keďže sa nám nepodarilo požičať si sadu a kúpiť si jednu náš rozpočet nezvládol, museli sme si ich vyrobiť. Ako zrkadlovú guľu sme použili veľkú chrómovú vianočnú guľu a matnú guľu sme vyrobili z guľatého plastového tienidla a matnej šedej farby. Neboli síce dokonalé ale bol to efektívny low-cost spôsob ako si postrodukcii výrazne uľahčiť.



25 - Fotografia referenčných gúľ

### 2.3.2 Softvér

Pred začiatkom postprodukcie si bolo treba premyslieť a pripraviť softvér a licencie. Pre conform a farebné korekcie sme použili DaVinci Resolve, na tracking a 2d compositing Foundri Nuke a SynthEyes, na CG elementy Autodesk Maya, prípadne SideFX Houdini, Substance Painter, na render V-Ray. Na V-Ray sme si zadovážili tri licencie aby sme skrátili celkový render time počítaním viacerých scén naraz. Ďalší doplnkový softvér zahŕňal Adobe Photoshop a After Effects, RawTherapee, PTGui a ďalšie. Keďže sme na postprodukcii traja, potrebovali sme systém na zdieľanie dát a úloh medzi viacerými počítačmi. Na to sme využili Microsoft OneDrive a Excel tabuľky, pre nasledujúce projekty chceme do pipeline zintegrovat' aj Shotgun a DropBox.

### 2.3.3 3D tlač

Na natáčanie sme si museli niekoľko assetov fyzicky vyrobiť pre zjednodušenie postprodukcie. Pre efekt kedy si ide vedec zväčšiť kávu sme potrebovali vyrobiť identickú zväčšenú kópiu šálky do ktorej si nalial kávu. Mali sme problém kúpiť obrovskú šálku a kebyže ju aj zoženieme, tak by sme nemali malú, identickú šálku. Najefektívnejšia cesta pre nás bolo využiť 3d tlačiareň.

Šálka bola jednoduchý objekt na namodelovanie, viac práce a hlavne času zabrala samotná tlač a príprava na tlač. Kvôli veľkosti šálky ju nebolo možné vytlačiť v jednom kuse, musel



som ju rozdeliť na 4 časti, pridať kolíky pre spoje a doladiť tolerancie. Po 35 hodinách tlače boli kusy zlepené dokopy a celá šálka natretá bielou silikónovou farbou.



26 - Model komponentov šálky na 3d tlač a fotografia vytlačeného komponentu

3D tlač je nástroj ktorý vie veľmi uľahčiť alebo aj odstrániť prvky ktoré by zabrali podstatne viac času v postprodukcii. Momentálne sú už tlačiarne veľmi presné a spoľahlivé, ich cena umiernená a stále klesá. Používanie je jednoduché a na vfx (hlavne keď pracujeme s 3d programami) sme už oboznámení s viacerými nástrojmi ktoré vedia zjednodušiť a zefektívniť ich používanie.



27 - Porovnanie malej referenčnej a hotovej vytlačenej šálky

## 2.4 Produkcia

Projekt sme koncipovali s tým že pravdepodobne budeme mať obmedzené zdroje a podmienky kvôli covid opatreniam, s tým že sme pripravovali aj návrhy na full CG verziu ktorú by sme vedeli robiť z domu. Produkcia bola iba jednodňová, natáčali sme v jednej miestnosti (AVFX ateliéri) s dvoma hercami (ak rátam aj korytnačku), na stavbu scény sme využívali väčšinou predmety čo sme mali v ateliéri k dispozícií. Na celú dĺžku miestnosti sme natiahli zelené plátno pre set extention. Scénu sme mali nachystanú za cca. 5 dní potom ako sme dostali povolenie na natáčanie.



28 - Fotografia z natáčania

Priebeh natáčania bol relatívne jednoduchý keďže sme boli celý čas na jednom sete. Hlavný natáčací čas sme využili na scénu s hercom v laboratóriu, obedovú prestávku sme využili na fotenie hdri máp a referenčných gulí. V tom čase maskérka pracovala na makeupe hercova pre posledný záber. Poobede sme rozložili menšie zelené plátno, natočili sme odjazd od herca cez celú dĺžku miestnosti. Nasledovalo rozloženie modrého plátna na ktorom sme natočili korytnačku pre vloženie do CG mesta, taktiež pre posledný záber.

### 2.4.1 Fotenie HDRI mapy

Pri integrácii 3d objektu do záberu je správne nasvietenie jedna z najdôležitejších procesov. Je možné ho nasvietiť v 3d scéne ručne ale zaberie to podstatne viac času a námahy ako vytvorenie hdri mapy. Pre Project Trash sme fotili 2 hdri mapy, jednu zvnútra

terária pre nasvietenie robotickej ruky na korytnačke a druhú v strede miestnosti pre zvyšok priestoru.

Fotili sme na fotoaparát Sony A7iii, využili sme bracketing na 7 fotografií po 1EV expozície. Najširšiu fokálnu dĺžku dispozícií sme mali 25mm na full frame senzor, ideálnejšia by bola širšia fokálna dĺžka keďže na vyfotenie 360-stupňovej mapy s 25mm objektívom je potrebné veľké množstvo fotografií. Výhodou však je vyšší detail výslednej hdri mapy a menší lens distortion ktorý môže skomplikovať spájanie fotografií (väčšinou platí čím „širší“ objektív tým väčší lens distortion).

## 2.5 Postprodukcia

### 2.5.1 Hlavné členenie CG VFX vo filme

V texte budem do zoznamu vfx zaraďovať hlavne prácu so CG elementami keďže som ich mal v postprodukcii na starosti ja. Viem ich podeliť do troch hlavných segmentov.

#### 2.5.1.1 Robotické rameno na korytnačke

Korytnačka bola dosadená do dvoch prostredí - do exteriéru mesta ale hlavne do terária v interiéri. Na chrbát som jej prirobil odpadkový kôš s robotickým ramenom na zbieranie smetí. Farebne som sa ho snažil zladit' s objektami v popredí, čierna, šedý kov a oranžové akcenty. Rig aj animácie boli relatívne jednoduchá, väčšie problémy nastávali pri matchmovingu a nasádzaniu na korytnačku.



29 - Záber z filmu - korytnačka s robotickým ramenom

### 2.5.1.2 Laboratórium/ Set extention

Keďže je hlavná postava ekológ/vedec tak som sa snažil urobiť jeho laboratórium menej “sterilné”. Mierne som sa ho snažil oživiť farbou, pár rastlinami, tehlovými tapetami na zadnej stene alebo kresbami na tabuli. Zelená farba stien nemá iba úlohu spríjemniť atmosféru, pomohla aj zjednodušiť prácu so spillom z zeleného plátna a lepšie svetelne predať integráciu prostredia. Taktiež je v miestnosti viacero prvkov ktoré ukazujú vedcovu vášeň pre ochranu planéty. Zariadenie laboratória som skladal prevažne z Kitbash3D Secret lab assetov. Render time miestnosti bol výrazne dlhší ako pri ostatných objektoch, našťastie vo väčšine záberov na miestnosť bola kamera takmer statická, nevznikala paralaxa. Preto stačilo vyrenderovať iba jeden frame s presahom a použiť 2d track miesto renderovania celej sekvencie.

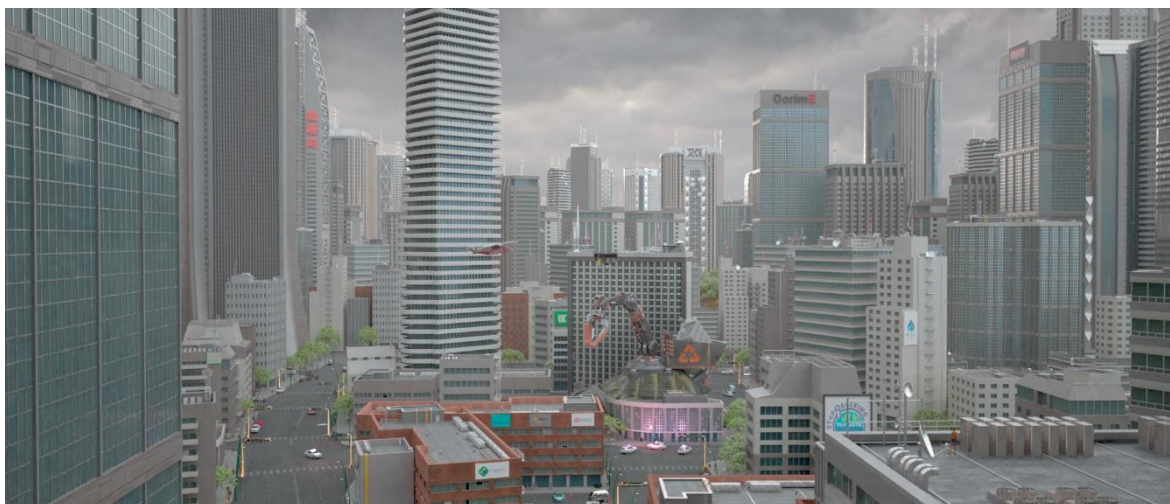


30 - Render laboratória

### 2.5.1.3 Exteriér - Mesto

V kontraste ku farebnejšiemu laboratóriu je exteriér/mesto šedé, ponuré, znečistené. V príbehu je prvok náhody blesk ktorý má udrieť do budovy s vedcom, preto je aj počasie a svietenie tiež ponuré/zamračené. Mesto vidíme v prvom zábere pri vjazde do laboratória, v poslednom zábere pri odjazde kedy v ňom vidíme aj zväčšenú korytnačku a v dvoch krátkych prestrihoch na úder blesku. Mesto je poskladané z Kitbash3D Neo Tokyo a z rôznych iných malých assetov. Hlavný layout urobil Patrik Maryniak, ja som na starosti zvyšok procesu po finálny render.

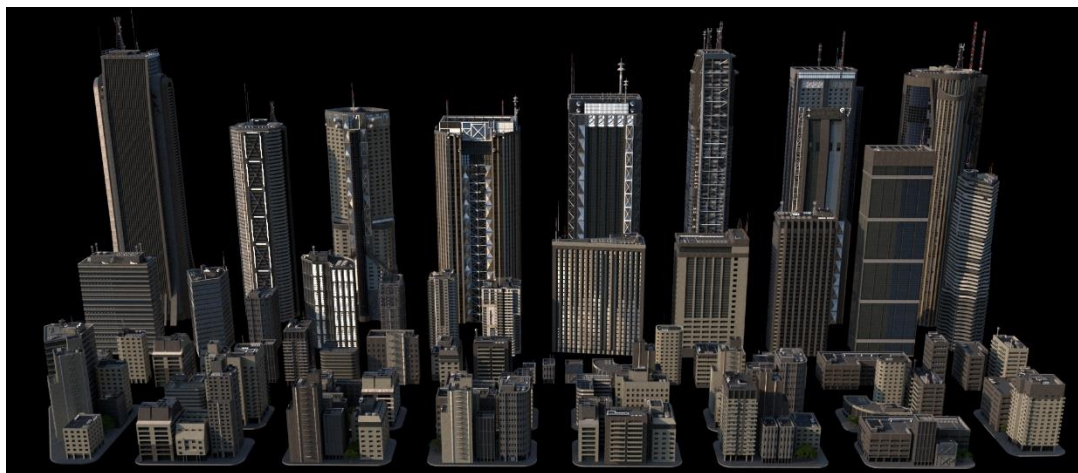




31 - Záber z filmu – exteriér mesto

### 2.5.2 Príprava assetov

Prvá príprava assetov spočívala v zozbieraní zdrojových assetov pre skladanie finálnych objektov a scén. Použil som dva balíky assetov od Kitbash3D, čo výrazne zjednodušilo modelovanie keďže som nemusel všetko modelovať od začiatku a mohol som sa sústrediť na iné aspekty výroby. Časť poskladaných modelov a scén, na ktoré som nepotreboval natočenú referenciu, som si pripravil už pred natáčaním.



32 - Kitbash3D Neo Tokyo

V najpokročilejšom štádiu bolo robotické rameno (mal som ho vymodelované a natextúrované zhruba na 80%) keďže už stačilo domodelovať podstavu a kôš keď som dostal natočený materiál s referenciou na korytnačku. Taktiež som doladil farbu textúr aby lepšie sedeli s farebnosťou reálneho setu. Najviac práce bolo s CG miestnosťou/laboratóriom, potreboval som referenciu na rozmery a obsah scény na sete. Spravili sme hrubý scan miestnosti ešte pred natáčaním aby sme mali referenciu na

rozmary, lenže chýbala kompozícia záberov a fyzických objektov na scéne. Tú som mal až po natáčaní.



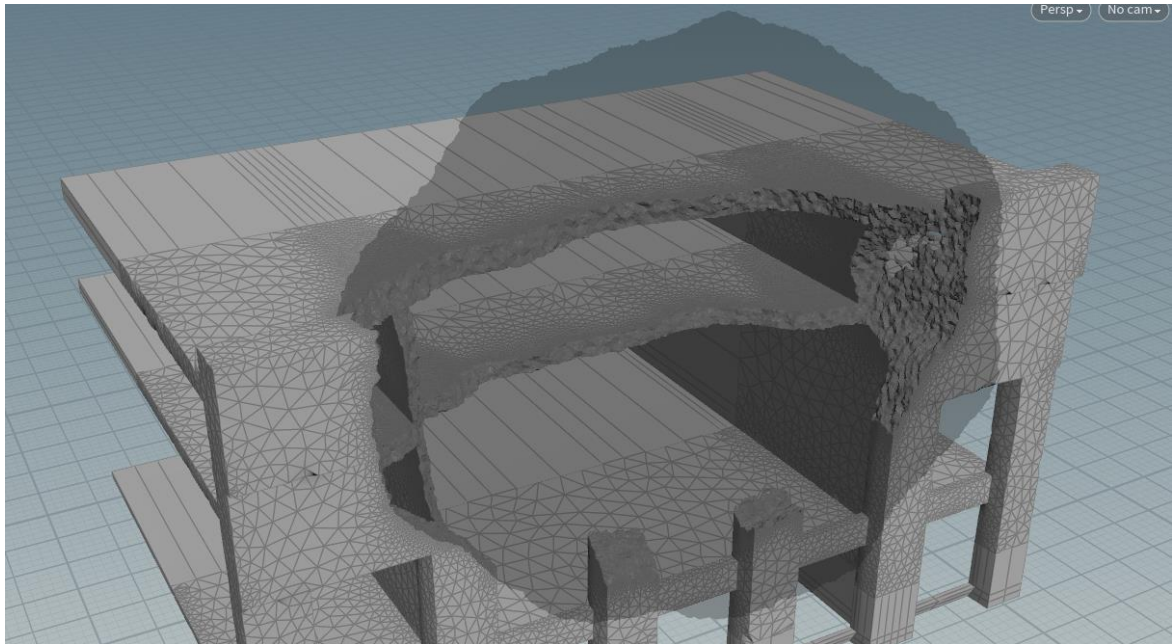
33 - Previs robotického ramena

Pre potreby postprodukcie bolo treba vymodelovať presné repliky dvoch assetov – zmenšenej pizza krabičky a šálky. Keďže šálku som vytlačil vo zväčšenej mierke, jej model bol hotový a vyžadoval si iba jednoduchý materiál. Pizza krabičku som pôvodne chcel naskenovať, nakoniec som ju namodeloval ručne a textúra som naprojektoval z fotografií z viacerých strán. Model som využil na výmenu za reálnu zmenšenú krabičku ktorú vedec hodil do terária aby s ňou vedelo CG rameno interagovať a pri zmenšovaní krabičky na plynulý prechod medzi veľkou a malou pizza krabicou.



34 - Krabička – fyzický objekt a 3d model

Dieru v budove v poslednom zábere mi pomohol urobiť Patrik Maryniak v Houdini. Vymodeloval som kostru budovy a následne sme ju vyrezávali v Houdini guľou s niekoľkými vrstvami noise deformerov.



35 - Výrez z budovy v Houdini

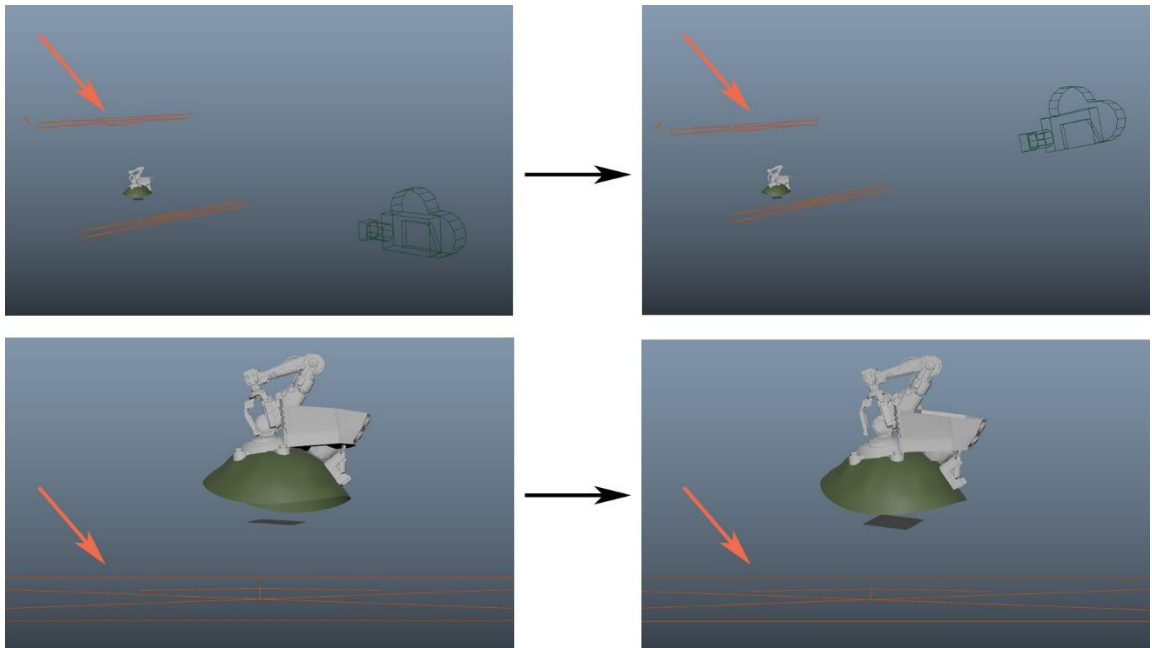
### 2.5.3 3D tracking

Po natáčaní nasledoval strih, conform a následne prišiel čas na 3d track. Kamera sa celý pohybovala na koľajniciach pozdĺž dlhšej strany miestnosti. Ďalší pohyb bol už iba pan na statíve. Vo finálnom strihu boli väčšina záberov presne také – kamera stojí, jediný pohyb je mierny pan. To malo za následok že 3d track priestoru bolo treba robiť iba pri 3 záberoch. Na ostatných postačoval iba statický render ktorý sa do záberu dosadil 2d trackom pri compositingu. Hlavný 3d trackovaný záber miestnosti bol z02, asi 1000 framový veľký celok s prejazdom cez celú miestnosť. Kvôli dostatku trackerov na zelenom plátne aj množstve záchytných bodov v scéne v popredí bol 3d track celkom jednoduchý a čistý (error cca. 0.5).

Podstatne komplikovanejší bol track korytnačky pre dosadenie robotického ramena. Pri záberoch kde bola korytnačka na scéne veľmi malá alebo pohyb korytnačky bol veľmi jemný som sa o track ani nepokúšal a robil som match moving ručne. Pri detailoch na korytnačku by však boli nepresnosti príliš viditeľné, preto bol track nutnosťou. Spomínaný detail na korytnačku bol záber točený cez 85mm objektív a pohyb kamery bol iba pomalý pan doľava. Parallaxa nebola žiadna preto jediný efektívny spôsob trackovania bolo spraviť track kamery voči objektu. Výsledný solve bola kamera obletujúca statický pancier v scéne. Pri statickom pancieri nastali nezhody v svietení keďže z pohľadu kamery sa svetlá pohybovali okolo panciera miesto toho aby boli statické. Ten problém som vyriešil



tak že som naparentoval svetlá na rotáciu kamery takže v scéne sa svetlá začali pohybovať okolo panciera. Z pohľadu kamery boli svetlá statické a pancier sa hýbal.



36 - Pohyb svetiel voči kamere

#### 2.5.4 Animácia a simulácia

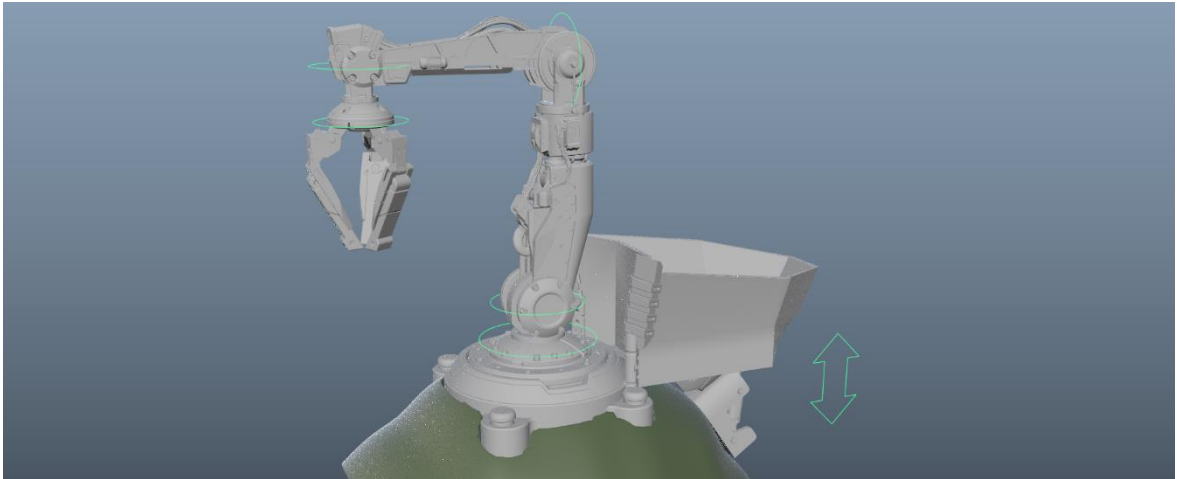
Tam kde som korytnačí pancier nemohol trackovať, animoval som pohyb ručne. Model panciera ktorý som použil ako shadow catcher spolu s podstavou robotického ramena boli priveľmi zložitá a mali príliš jemnú topológiu na efektívne animovanie. Pre match moving som si urobil ešte jednu verziu panciera, low poly model ktorý približne sledoval linky reálneho panciera a poskytoval sieť ktorá sa pri animovaní jednoducho sledovala.



37 -Model panciera na match moving

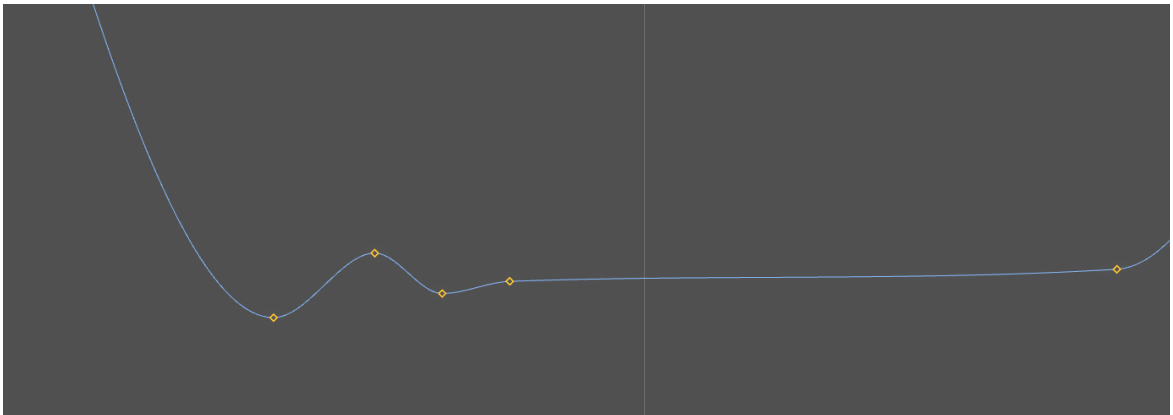


Ďalší animovaný element na korytnačke bolo už spomínané robotické rameno. Vyrobil som si jednoduchý rig, ku každému kĺbu bol naparentovaná krivka ktorá sa pri procese animovania dala jednoducho označiť. Na každej som taktiež zamkol a skryl všetky atribúty okrem jednej osy na ktorej sa kĺb hýbal. Taktiež som nastavil limit na rotáciu aby pri animovaní nechtia neklipol časti ramena cez seba.



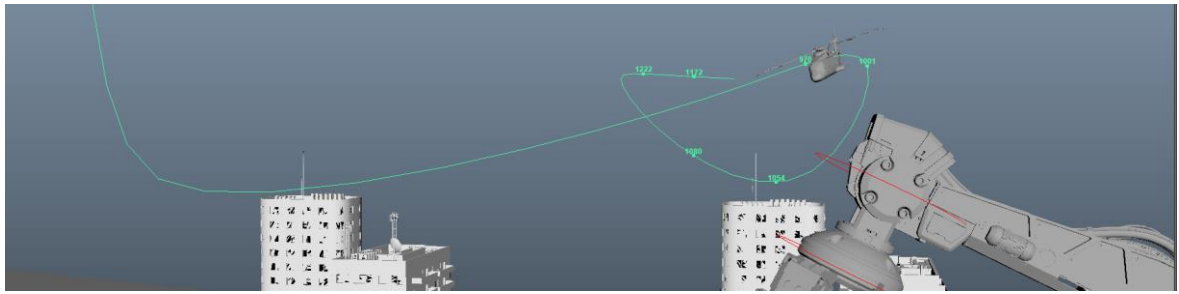
38 - Rig robotického ramena

Pri veľkých pohyboch ramena, alebo keď zrovna niečo dvíhalo, som pridával na konci pohybu mierne zachvenie, niečo ako simulácia drobných nepresností jednotlivých spojov v kĺboch, resp. vplyv hmotnosti a zotrvačnosti pri pohybe na presnosť pohybu ramena.



39 - Animačná krivka – záchvev pri pohybe

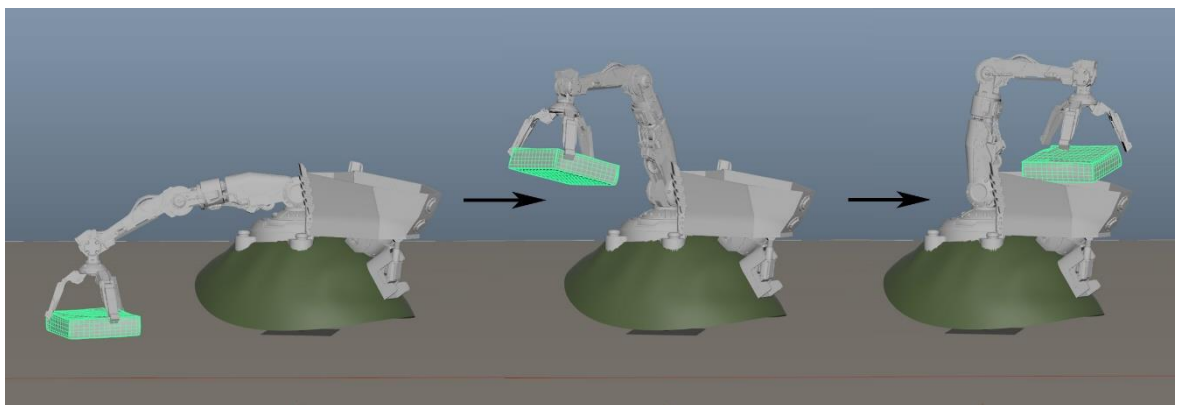
Viacero animovaných prvkov som využil aj v meste, väčšina pozostávala z objektov (áut a helikoptéry) s presunom v priestore animovaným po krivke – motion path. Pri autách nebola sekundárna animácia nutná, pri helikoptére som potreboval simulovať okrem presunu aj rotáciu, „plávanie“ vo vzduchu.



#### 40 - Motion path

Simulácie som veľa nevyužil, šlo hlavne o jednoduchú rigidbody simuláciu padajúceho objektu. Použil som ju pri leitmotíve zbierania „odpadu“ robotickým ramenom, raz s malou pizza krabičkou v teráriu a v poslednom zábere s budovou v exteriéri/meste.

Urobiť prenos zmenšenej pizza krabičky do koša na korytnačke bol trochu zložitejší proces keďže je vidieť celý prechod od chytenia ramenom, cez dvíhnutie, až po pustenie do koša. Na jednu plynulú simuláciu je to veľa parametrov na doladovanie aby celá animácia pôsobila reálne. Preto som si ju rozdelil na tri časti. Prvá bola pri zovretí krabičky ramenom. Použil som nCloth solver na mierne skrčenie krabičky pri zatvorení čelustí. Druhé štádium bolo keď sa rameno začalo dvíhať. Tam som parentol statický mesh krabičky na „zápästie“ ramena aby sa hýbala spolu s ním, žiadna simulácia sa nediala. Posledné štádium prišlo keď už rameno zastalo nad košom a čeluste sa otvorili. Tam som použil Rigidbody solver na pád krabičky do koša.

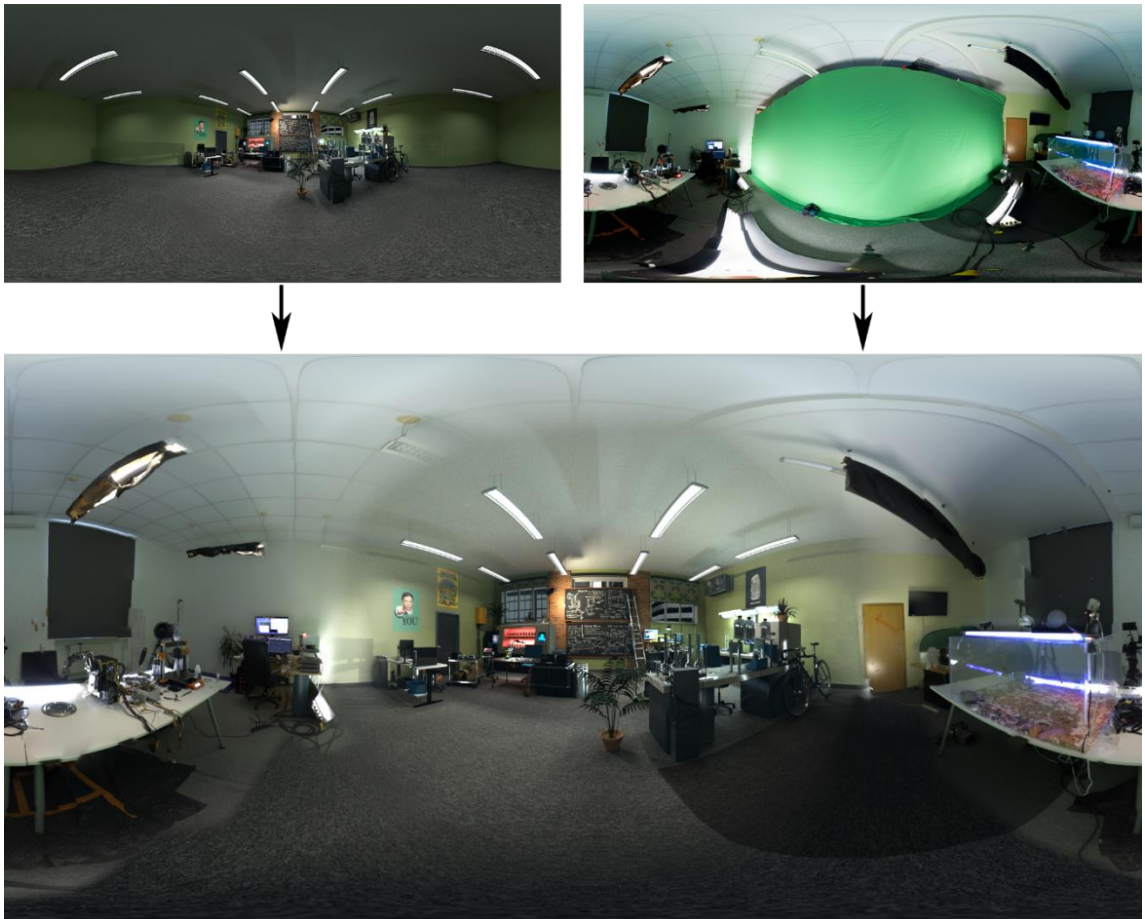


#### 41 - Fázy pohybu ramena pri dvíhaní krabičky

Rigidbody solver na krabičke som použil ešte v každom ďalšom zábere kde bola korytnačka, aby sa pri jej pohybe krabička v koši mierne hýbala.

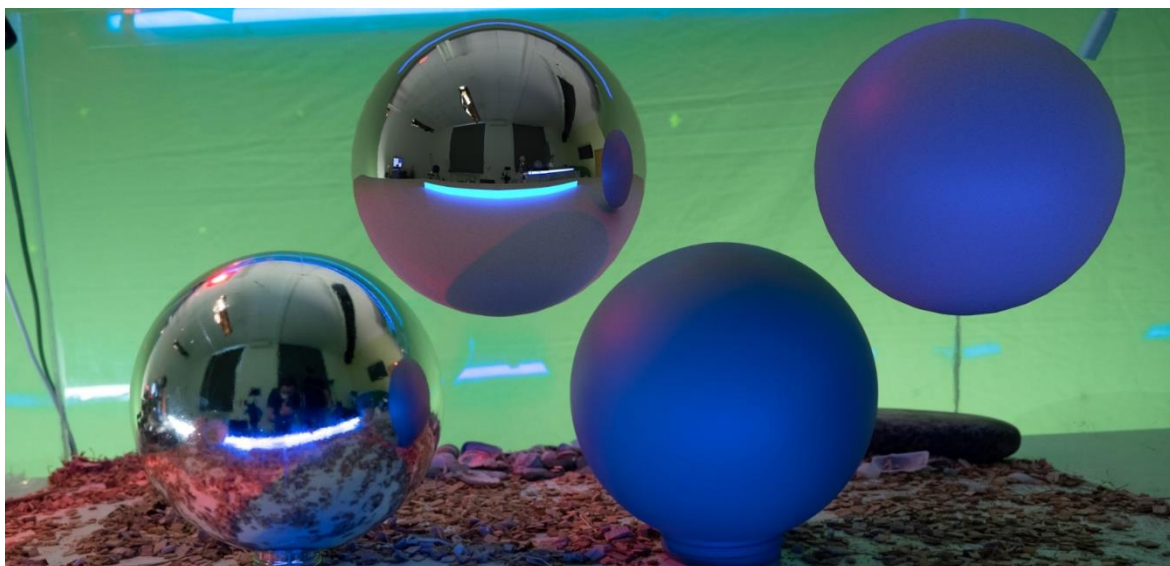
### 2.5.5 Svietenie

Svietenie mesta a korytnačky v teráriu a mesta bolo relatívne jednoduché. Na svietenie korytnačky som mal hdri mapu, v ktorej bolo vymenené zelené plátno za laboratórium. To som dosiahol tak že som vyrenderoval sférickú mapu laboratória z približnej pozície v ktorej bola kamera pri fotení hdri mapy na sete. Patrik Maryniak potom v Nuke vykľúčoval hdri mapu a nahradil ju za render.



42 - HDRI mapy

Terárium som dosvietil dvoma modrými svetlami ktoré reprezentovali trubice s filtermi pozdĺž terária a jedným červeným svetlom v rohu ktoré simulovalo červenú výhrevnú lampu. Pri svietení my veľmi pomohli fotografie referenčných gúľ.



43 - Referenčné gule s renderom gulí z 3d programu

V deji má v meste udrieť blesk do budovy, preto bolo treba aby bolo nebo zamračené a tomu som aj uspôsoboval svetlo. Použil som hdri mapu z databázy polyhaven.com a mesto som prekryl ešte jednou plochou ktorá mala ešte zmierniť osvetlenie hdri mapy zvrchu. Mesto malo byť zámerne šedé a ponuré ale výsledok bol potiahnutý možno až príliš do extrému a render pôsobí mierne plocho. Pri dodatočných úpravách filmu na festivaly sa mestu ešte povenujem, prípadne zmením setting na noc. V poslednom zábere som taktiež pridal do mesta policajné autá so svietiacimi majákmi ktoré pridali osvetleniu miernu dynamiku.



44 - Detail na policajné autá v meste

Najviac práce so svetlom bolo v miestnosti. Chcel som ju urobiť živšiu a kontrastnejšiu oproti mestu. Základ bolo ambientné svetlo zo stropných svietidiel, snažil som sa zreplikovať stropné svetlá čo sme mali na sete. Za kameru som vložil plochu s textúrou hdri mapy a miernou emisiou aby som do miestnosti dostal svetlo zo setu. Do miestnosti som potom vkladal kombináciu teplých a studených svetiel s tým že na pravej strane pri



a za kávovarom boli studené farby a na ľavej strane do teplejších farieb. Modré svetlo na pravej strane namierené na kávovar sme mali aj na sete pri natáčaní. Potom som doplnil už iba pár svetiel zo stolných lúč s centrálnym svetlom namiereným na tabuľu v strede miestnosti. Ďalšie akcent tvoria obrazovky na počítačoch.



45 - Koláž svetiel v laboratóriu

Pri záberoch úderu blesku do budovy, aby som nemusel renderovať animáciu, som renderoval iba dve framy. Jeden bez osvetlenia bleskom a druhý s osvetlením, tie sa medzi sebou animovali v compositingu. Hodnoty svetla som nastavil podľa reálnych vlastností bleskov (cca 30000 kelvin, 100000 lumen/m<sup>2</sup>).



46 - Blesk v meste

### 2.5.6 Render

Po prichystaní všetkých scén som mal na starosť ešte render. Zábery boli natáčané na 4K 16:9, finálny render filmu je 2K 2.35:1. Crop na 2.35 sme robili až pri finálnom strihu hotových záberov pred gradingom takže CG výstup som renderoval 2K 16:9. Na každý záber som ešte pridal 10% presah kvôli lens distortionu a prípadným kompozičným posunom. Vo viacerých prípadoch som robil výstup priamo 2.35:1, keď som vedel, že dokonponovať zábery už nebude potrebné čím sa mi skrátí renderovací čas. Pri záberoch kde stačil výstup jeden frame s tým že sa budú posúvať 2d trackom, som robil aj väčšie presahy. Napríklad v detailných záberoch na korytnačku, kde je horizontálny pan, som robil horizontálny presah 100% aby sa jeden zdroj dal použiť na všetky podobné zábery. Veľký presah som robil aj pre animovaný záber, konkrétne z03, kde sme robili digitálny švenk dohora kedy sme predstavili robotické rameno.

Na 3d render som použil V-Ray. Má relatívne vysokú rýchlosť výpočtov a možnosť renderovať na procesore aj grafickej karte naraz. Ďalší dôvod bol že s ním vedeli pracovať aj Marián s Patrikom a v prípade potreby by sme sa mohli renderom zaoberať viacerí. Výhoda V-Ray je tiež efektívny denoise čo vo viacerých prípadoch znížilo renderovací čas s relatívne malými stratami na kvalite.

Pôvodne som mal robiť výstup vo viacerých passoch ale časový sklz nám to neumožnil. Beauty pass však nebol jediný výstup. Okrem neho sme použili Zdepth, Cryptomatte, Normals, GI pass, prípadne Light Select keď sme potrebovali vyseparovať konkrétne svetlo, a ďalšie pomocné passy pre compositing. Denoiser som dodával tiež ako zvlášť pass keďže pri niektorých záberoch bol príliš silný a odstraňoval všetky detaily z rendera.

Síce som renderoval iba beauty s pomocnými passmi ale niekedy bolo treba rozdeliť render na viacero častí. Dobrým príkladom je posledný záber s odjazdom na mesto. Ten som podelil na päť vrstiev. Prvá je celok mesta bez hlavnej budovy. Druhá je hlavná budova bez diery od ktorej ide odjazd. Tretia je samotná diera v ktorej vidíme miestnosť. Tá sa navrstvila na nerozbitú budovu a v compositingu sa odmaskovala vrchná časť strechy a zadné okná. Štvrtá je korytnačka s ramenom pred budovou a pridaný kus trosiek. Nakoniec pre ušetrenie času v 3d aj compositingu sme korytnačku nekladali z modrého plátna, miesto toho som vyprojetoval fotografiu panciera na 3d pancier. Pred miesto kde má byť hlava som pridal trosky aby nebolo vidieť že v scéne je iba pancier s ramenom. Posledná vrstva je helikoptéra ktorá oblietava rameno.



47 - Render budovy bez a s dierou

Po vyrenderovaní všetkých potrebných elementov a ich začlenení do priečinkovej štruktúry sa moja práca skončila a prišiel na rad compositing.

## Zoznam ilustrácií

1 - Sketchpad a tzv. Boeing Man .....	11
<a href="https://bimaplus.org/news/the-very-beginning-of-the-digital-representation-ivan-sutherland-sketchpad/">https://bimaplus.org/news/the-very-beginning-of-the-digital-representation-ivan-sutherland-sketchpad/</a>	
<a href="https://secure.boeingimages.com/archive/William-Fetter's-Boeing-Man-2F3XC5Y CZNC.html">https://secure.boeingimages.com/archive/William-Fetter's-Boeing-Man-2F3XC5Y CZNC.html</a>	
2 - Vektor a raster .....	11
<a href="https://web.archive.org/web/20070405172339/http://accad.osu.edu/~waynec/history/lesson1.html">https://web.archive.org/web/20070405172339/http://accad.osu.edu/~waynec/history/lesson1.html</a>	
3 - Westworld 1973 CG .....	12
<a href="https://www.newyorker.com/tech/annals-of-technology/how-michael-crichtons-westworld-pioneered-modern-special-effects">https://www.newyorker.com/tech/annals-of-technology/how-michael-crichtons-westworld-pioneered-modern-special-effects</a>	
4 - Tron 1982 Light-Cicles .....	13
<a href="https://www.flickr.com/photos/neilvance/15430856553">https://www.flickr.com/photos/neilvance/15430856553</a>	
5 - John Blinn bump mapa a Phong shading na priehľadnom pohári.....	14
<a href="https://web.archive.org/web/20060906015152/http://accad.osu.edu/~waynec/history/lesson4.html">https://web.archive.org/web/20060906015152/http://accad.osu.edu/~waynec/history/lesson4.html</a>	
<a href="https://web.archive.org/web/20060906015152/http://accad.osu.edu/~waynec/history/lesson4.html">https://web.archive.org/web/20060906015152/http://accad.osu.edu/~waynec/history/lesson4.html</a>	
6 - Utah Teapot .....	14
<a href="https://nautil.us/blog/the-most-important-object-in-computer-graphics-history-is-this-teapot">https://nautil.us/blog/the-most-important-object-in-computer-graphics-history-is-this-teapot</a>	
7 - UV mapovanie.....	16
8 - Projekcia textúry cez kameru .....	16
9 - RGB kanály .....	18
10 - ORM textúra.....	18
<a href="https://doc.babylonjs.com/extensions/Exporters/Maya_to_glTF">https://doc.babylonjs.com/extensions/Exporters/Maya_to_glTF</a>	
11 - Príklady rozlíšenia .....	19
12 - Vizualizácia bitovej hĺbky .....	19
<a href="https://gregbenzphotography.com/photography-tips/8-vs-16-bit-depth-photoshop">https://gregbenzphotography.com/photography-tips/8-vs-16-bit-depth-photoshop</a>	



13 - Diffuse textúra .....	21
14 - Roughness textúra .....	21
15 - Metallic textúra.....	22
16 - Normal textúra.....	23
17 - Bump textúra .....	23
18 - Displacement textúra .....	24
<a href="https://sketchfab.com/3d-models/free-mountain-displacement-map-pack-896e7dbe9d4d48c492761afd4ff76c78">https://sketchfab.com/3d-models/free-mountain-displacement-map-pack-896e7dbe9d4d48c492761afd4ff76c78</a>	
19 - List s Opacity mapou.....	25
<a href="https://seamless-pixels.blogspot.com/2012/09/leaf-textures.html">https://seamless-pixels.blogspot.com/2012/09/leaf-textures.html</a>	
20 - Ambient occlusion.....	26
21 - HDRI mapa.....	27
22 - Rozsah kvalitnej HDRI mapy .....	27
23 - Príklad prototypu skeneru so setom fotografií na spracovanie .....	29
<a href="http://rtgfx.com/pbr-texture-scanner/">http://rtgfx.com/pbr-texture-scanner/</a>	
24 - Fotografia kamery Blackmagic Ursa Mini Pro 4.6K.....	31
<a href="https://www.cined.com/blackmagic-ursa-mini-pro-4-6k-g2-first-slow-motion-footage/">https://www.cined.com/blackmagic-ursa-mini-pro-4-6k-g2-first-slow-motion-footage/</a>	
25 - Fotografia referenčných gulí .....	32
26 - Model komponentov šálky na 3d tlač a fotografia vytlačeného komponentu.....	33
27 - Porovnanie malej referenčnej a hotovej vytlačenej šálky .....	33
28 - Fotografia z natáčania.....	34
29 - Záber z filmu - korytnačka s robotickým ramenom .....	35
30 - Render laboratória .....	36
31 - Záber z filmu – exteriér mesto.....	37
32 - Kitbash3D Neo Tokyo.....	37
33 - Previs robotického ramena .....	38
34 - Krabička – fyzický objekt a 3d model.....	38
35 - Výrez z budovy v Houdini .....	39
36 - Pohyb svetiel voči kamere.....	40
37 - Model panciera na match moving .....	40
38 - Rig robotického ramena .....	41
39 - Animačná krivka – záchvev pri pohybe .....	41

40 - Motion path .....	42
41 - Fázy pohybu ramena pri dvíhaní krabičky .....	42
42 - HDRI mapy .....	43
43 - Referenčné gule s renderom gulí z 3d programu.....	44
44 - Detail na policajné autá v meste .....	44
45 - Koláž svetiel v laboratóriu.....	45
46 - Blesk v meste.....	45
47 - Render budovy bez a s dierou .....	47

## **Bibliografia a internetové zdroje**

Light for visual artists (Second edition) – Richard Yot, ISBN: 978-1-78627-451-9

History of Digital Games – Andrew Williams, ISBN: 978-1-138-88555-4

VXF Fundamentals – Wallace Jackson, ISBN: 978-1-4842-2130-0

Special Effects, The History and Technique – Richard Rickitt, ISBN: 978-1-84513-130-2

<https://www.inf.pucrs.br/flash/tcg/aulas/texture/texmap.pdf>

<http://www.mathcs.emory.edu/~cheung/Courses/355/Syllabus/94-CUDA/Docs/gpu-history-paper.pdf>

[http://www.comphist.org/computing\\_history/new\\_page\\_6.htm](http://www.comphist.org/computing_history/new_page_6.htm)

<https://web.archive.org/web/20070405172134/http://accad.osu.edu/~waynec/history/lessons.html>

<https://www.spiedigitallibrary.org/conference-proceedings-of-spie/4675/0000/Lossless-data-embedding-for-all-image-formats/10.1117/12.465317.short?SSO=1>

<http://www.cs.yale.edu/homes/tap/Files/hopper-story.html>

<https://poulp.io/building-a-portable-lightweight-pbr-surface-scanner/>

<https://www.pluralsight.com/blog/film-games/cover-bases-common-3d-texturing-terminology>

[https://www.researchgate.net/publication/200019135\\_Post-processing\\_of\\_Scanned\\_3D\\_Surface\\_Data](https://www.researchgate.net/publication/200019135_Post-processing_of_Scanned_3D_Surface_Data)

<https://ufo3d.com/history-of-3d-modeling>

<http://www.digitizationguidelines.gov/term.php?term=bitdepthimage>

<https://nautil.us/blog/the-most-important-object-in-computer-graphics-history-is-this-teapot>

<https://imdb.com>