



Ladislav Dedík

Človek v zdigitalizovanom prostredí

Učebné texty študijného programu
Ateliéru vizuálnych efektov
Filmovej a televíznej fakulty VŠMU

© edícia **ft**
v š m u

Ing. Ladislav Dedík, ArtD.

Človek v zdigitalizovanom prostredí

Učebné texty

študijného programu vizuálnych efektov

Filmovej a televíznej fakulty VŠMU

Recenzenti: prof. Ľudovít Labík, ArtD.

akad. mal. Boris Masník

Vydala Vysoká škola múzických umení v Bratislave Centrum umenia a vedy

Ventúrska 3, 813 01 Bratislava 1

www.vsmu.sk

1. vydanie 3,58 AH, 71,57 normostrán

Vedúci redaktor

Jazyková úprava

Grafický dizajn a sadzba Grafické štúdio VŠMU, autor

e-vydanie

ISBN

Motto:

„O dvadsať rokov sa veľká časť hraných filmov bude realizovať v počítačoch využívaním knižníc zdigitalizovaných predmetov a prostredí“.

OBSAH:

1.	História metód snímania.....	4
1.1.	Techniky 3D digitalizácie vhodné pre záznam kultúrneho dedičstva	4
1.2.	Snímanie 3D priestoru Fotogrametrickou metódou	5
1.3.	Snímanie 3D p riestoru Laserovým skenerom LIDAR	6
1.4.	Kombinácia fotogrametrie a laser skenu.....	8
1.5.	Využitie jednotlivých metód snímania 3D priestoru vo filme.....	8
1.6.	Historický vývoj digitalizácie vo filme	9
1.7.	Využitie laserového skenera vo filme	12
1.8.	Digitálna replika – spôsob výroby	12
1.9.	Laser sken vo filme World War Z.....	14
1.10.	Využitie fotogrametrie vo filme.....	15
1.11.	Kombinácia fotogrametrie a laser skenu vo filme Pompeje.....	16
2.	Kamerový rig motion control.....	17
2.1.	História kamerových rigov a ich využitie vo filme	17
2.2.	Popis a charakteristika kamerového rigu MILO motion control	18
3.	Príkladová štúdia praktickej realizácie nasnímania športového výkonu	10
3.1.	Predmet príkladovej štúdie	10
3.2.	Cieľ príkladovej štúdie	10
3.3.	Námet a scenár	11
3.4.	Overenie fotogrametrických metód snímania objektov a príprava pracovných postupov vytvorených autorom projektu pred procesom digitalizácie vybraného objektu	13
3.5.	Popis prípravy pred zberom dát.....	13
3.6.	Získanie aspoň približných plánov objektu fotogrametrie.....	14
3.7.	Popis použitej technológie	14
3.8.	Metódy a postupy fotogrametrického pozemného zberu dát.....	15
3.9.	Priebežné spracovávanie dát v teréne	18
3.10.	Výber a popis lokácie	19
3.11.	Návrh technologického postupu a použitých metód	21
3.12.	Snímanie priestoru metódou laser sken.....	22
3.13.	Snímanie priestoru fotogrametrickou metódou	24
3.14.	Snímkovanie čiastkových priestorových výrezov	26
3.15.	Snímanie celkov	27
3.16.	Previazanie a syntéza laser skenu a fotogrametrických modelov	29
3.17.	Generovanie geometrického modelu a textúr	32
3.18.	Príprava na natáčanie a konfigurácia kamerového rigu MILO motion control	34
3.19.	Realizácia natáčania spotu	38
3.20.	Kompoziting	50
4.	Záver	54
	Zoznam použitých skratiek	90
	Zoznam obrazových príloh	90
	Zoznam použitej literatúry	92

1. HISTÓRIA METÓD SNÍMANIA

1.1. TECHNIKY 3D DIGITALIZÁCIE VHODNÉ PRE ZÁZNAM KULTÚRNEHO DEDIČSTVA

Rýchly vývoj technológií v oblasti digitálnych záznamových prostriedkov a ich spracovania otvára dvere postupom umožňujúcim detailné zdokumentovanie historických predmetov, objektov a architektúry za účelom ich ďalšieho výskumu, ako aj samotnej katalogizácie. Tento proces všeobecne nazývame "digitalizácia".

V súčasnosti je prístup k digitálnemu obsahu prostredníctvom médií (internet, televízia a pod.) nedeliteľnou súčasťou života spoločnosti. Aby sa kultúrne dedičstvo stalo súčasťou tohto digitálneho obsahu, musia byť zdigitalizované hmotné objekty, ktoré predstavujú jeho podstatnú časť. Takto získaný digitálny obsah predstavuje jednak zdigitalizované kultúrno- historické informácie o danom objekte a zároveň aj jeho digitálnu vizuálnu prezentáciu, resp. akýsi vizuálno-priestorový záznam, ktorý sa označuje aj ako digitálna vizualizácia.¹

Keďže technológie digitalizácie a digitálnej vizualizácie podliehajú neustálemu vývoju, nie je možné pre každú situáciu konkrétne odporúčať optimálne technológie. Z tohto dôvodu sa prehľad obmedzuje na jednotlivé typy technológií, u ktorých je predpoklad ďalšej optimalizácie a vývoja. Spôsob 3D digitálnej vizualizácie závisí najmä od požiadaviek na výsledný záznam prípadne od charakteru snímaného objektu.

Z týchto hľadísk rozdeľujeme priestorové digitalizačné metódy snímania 3D objektu na:

- Fotogrametrická metóda
- Metóda 3D laserového snímania

¹ KULÍKOVÁ, 2009

1.2. SNÍMANIE 3D PRIESTORU FOTOGRAMETRICKOU METÓDOU – SÚČASNÝ STAV POZNANIA SKÚMANEJ PROBLEMATIKY

Slovo fotogrametria je odvodené z gréckych slov: fotos = svetlo, gramma = písmo, záznam a métrisi = meranie. Čiže spolu sa toto slovo dá preložiť ako meranie na zázname vytvorenom pomocou svetla. Fotogrametria ako taká sa teda zaoberá postupmi merania na základe fotografie, z ktorej analyzuje tvar, veľkosť a polohu objektov zobrazených na snímke. Jej úlohou je potom previesť informácie z centrálnej projekcie snímky na ortogonálnu projekciu. Zjednodušene sa dá povedať, že je to bezkontaktná metóda optického merania objektov.

Fotogrametria využíva optické, fotografické a geometricko-matematické metódy. V minulosti sa používali hlavne analógové metódy - optické a geodetické merania. Keďže dnes je používaná predovšetkým digitálna fotografia a súradnice sú spracúvané digitálne a on-line, môžeme tieto metódy považovať za digitalizačné.²

Začiatky tejto metódy sú úzko prepojené s kartografiou a siahajú do doby ešte pred vynájdením fotografie, keď sa namiesto fotografických snímok používali perspektívne obrázky kreslené voľnou rukou. Táto metóda bola označovaná ako ikonometria. Neskôr po vynájdení fotoaparátov začali vznikať snahy o vyhotovovanie máp na základe fotografií. Za otcov fotogrametrie sú považovaní francúzsky dôstojník Aimé Laussedat a nemecký architekt Albrecht Meydenbauer.

Aimé Laussedat (1819-1907) už v roku 1849 vypracoval fotogrametrické zameranie historickej budovy *Hôtel des Invalides* v Paríži. Neskôr zmapoval detaily stavby *Château de Vincennes* vo Francúzsku, vypracoval presnú mapu obce Buc, ktorá sa nachádza pri Versailles. Pri realizovaní svojich meraní využíval balóny, na ktoré zavesil fotoaparát. Pomocou statívu zameriaval body potrebné pre trianguláciu. V roku 1862 sú pracovné postupy pána profesora Leussedata vedecky uznané Vedeckou akadémiou v Madride. V rámci geografickej spoločnosti inicioval založenie archívov fotografií a kartografických informácií, ktoré by mohli byť v budúcnosti využívané. Bol členom Vedeckej akadémie a patril do predstavenstva Francúzskej fotografickej spoločnosti. Vyvinul stroj na meranie, prototeodolit, a svoj plán Paríža prezentoval na Svetovej výstave v Paríži.³

Samotné slovo fotogrametria ako prvý použil až v roku 1867 Nemec Albrecht Meydenbauer (1834-1921), ktorý bol prvým architektom využívajúcim fotografie na meranie rozmerov budov.⁴ Priekopníkom bol aj vo využívaní fotografie na meranie fasád a rôznych architektonických prvkov, ktoré sa dovtedy merali v Nemecku ručne. Na tento účel zostrojil vlastnú kameru so snímkovacím formátom 40×40 cm, kde ako nosič fotografickej emulzie použil sklenené dosky. Celý zvyšok života sa potom venoval fotogrametrickej dokumentácii historických stavebných objektov a vo svojom

² BARTOŠ - GREGOR 1994, s.28

³ http://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Aimé_Laussedat&oldid=113275276.

⁴ Ako prvý v Nemecku už v roku 1867 zameral pomocou fotogrametrickej metódy románsky kostol v meste Freyburg/Unstrut.

archíve zhromaždil viac ako 16 000 snímok najvýznamnejších architektonických stavieb v Nemecku, z ktorých sa niektoré zachovali dodnes.⁵

Ďalší rozvoj fotogrametrie je spojený s prudkým vývojom letectva na začiatku 20. storočia. Lietadlá umožnili efektívnejšie snímkovanie najmä väčších objektov z nadhľadu, ktoré sa dovtedy robilo len pomocou teplovzdušných balónov. S rozvojom letectva, leteckej fotogrametrie, vedy a techniky sa vyvíjali aj fotografické a vyhodnocovacie prístroje a metódy.⁶ Po druhej svetovej vojne sa s vývojom počítačov začala fáza analytickej fotogrametrie. Praktickej realizácie a masovejšieho rozšírenia sa táto technika dočkala až v osemdesiatych rokoch. Jadrom prístrojov je opäť mechanická časť, kam sa pri vyhodnotení zakladajú snímky vo svojej klasickej podobe (sklo, film), ktoré sa potom spracúvajú a vyhodnocujú pomocou počítačov. Základnou výhodou tohto riešenia je, že výstupy už vznikajú v digitálnej podobe so všetkými kladnými aj zápornými dopadmi.⁷

Približne od roku 2000 je vzostup fotogrametrie spojený s rýchlym nástupom digitálnej fotografie. V súčasnej dobe je fotogrametria plne digitalizovaná, čo znamená, že aj vstupy aj výstupy sú už digitálne. Jednou z metód, ktoré výrazne prispeli k posunu fotogrametrie do štádia, v ktorom ju vidíme dnes je technika SFM (Structure from motion).⁸ Prvé pokročilé programy, ktoré disponovali možnosťou sledovať a vytvárať 3D priestor za pomoci SFM sú Boujou od spoločnosti 2d3 a PFTrack od spoločnosti Pixelfarm.⁹ To sú však stále veľmi jednoduché metódy, pri ktorých výpočet prebieha len na základe niekoľkých fotografií alebo kamier idúcich za sebou. Fotogrametria, z ktorej je možné kompletne vymodelovať alebo zrekonštruovať nafotené objekty, zaznamenala výrazný nástup až v roku 2003 vďaka pokroku v oblasti fotogrametrických algoritmov, výraznému zvýšeniu výkonnosti počítačov a vďaka lepšej kvalite CCD čipov¹⁰ pre digitálnu fotografiu. Tieto tri aspekty súčasne prispeli k posunu fotogrametrie do štádia, v ktorom je možné správnou kombináciou techník plne automaticky zrekonštruovať 3D priestor obsiahnutý vo fotografiách (mestá, budovy, miestnosti, objekty a povrchy).

1.3. SNÍMANIE 3D P RIESTORU LASEROVÝM SKENEROM LIDAR – SÚČASNÝ STAV POZNANIA SKÚMANEJ PROBLEMATIKY

⁵ ALBERTZ - MEYDENBAUER 2001

⁶ BARTOŠ - GREGOR 1994, s. 29

⁷ HODAČ 2011

⁸ Structure from motion – je to technika vytvárania priestoru na základe pohybu po sebe idúcich obrázkov. Ďalej pozri: http://en.wikipedia.org/wiki/Structure_from_motion.

⁹ Softvér na generovanie kamery zo sekvencie obrázkov. Ďalej pozri: <http://www.thepixelfarm.co.uk/farmshop.php?buyProduct=PFTrack>.

¹⁰ CCD (Charge-coupled device) – čip, ktorý prevádza svetlo na elektrický signál. Ďalej pozri: http://en.wikipedia.org/wiki/Charge-coupled_device.

LIDAR (z anglického Light Detection And Ranging) je aktívna metóda diaľkového prieskumu merania vzdialenosti na základe výpočtu rýchlosti odrazeného pulzu laserového lúča od snímaného objektu. LIDAR podobne ako RADAR pracuje na princípe vysielania a prijímania vln. V prípade LIDARu ide najčastejšie o vlny s vlnovou dĺžkou od 1064 do 1540 nm. Tieto sa nachádzajú v oblasti blízko infračerveného svetla (angl. NIR – Near - Infrared). RADAR naproti tomu pracuje s vlnami rádiovými (angl. Radio Detection And Ranging). Rádiové vlny majú vlnovú dĺžku od niekoľkých centimetrov po desiatky metrov, sú teda mnohonásobne dlhšie ako vlny z blízkosti červeného spektra. Práve malá vlnová dĺžka svetelného lúča umožňuje využívať LIDAR na získavanie presných meraní, čo pri radare nie je možné.

3D Laserový skener – LIDAR, je technológia pôvodne vyvinutá na meracie účely v GIS (Geographic information system). Pôvod tohto vynálezu je z šesťdesiatych rokov, krátko po vynájdení laserového lúča. Jeho prvá aplikácia bola realizovaná v oblasti meteorológie, kedy Národný ústav pre Atmosferický výskum (National Center for Atmospheric Research) v USA vďaka LIDARu meral oblaky.¹¹

Postupne, tak ako sa tieto zariadenia zdokonaľujú, zvyšuje sa ich presnosť a rozlíšenie, stávajú sa zaujímavými aj pre odvetvie digitalizácie. V súčasnosti sa využíva vo viacerých oblastiach, napr. archeológia, geológia, poľnohospodárstvo, biológia, meteorológia, astronómia, fyzika a mnoho ďalších.

Výsledkom 3D laserového snímania - skenovania je množina povrchových bodov objektu, tzv. mračno bodov (point cloud). Počet bodov jedného skenu závisí (tak isto ako pri 2D) od veľkosti záberu, resp. uhla snímania a od požadovaného rozlíšenia. Pre každý bod mračna je známy smer a vzdialenosť od prístroja, takže je známa aj jeho priestorová poloha v absolútnych hodnotách X, Y a Z zvoleného súradnicového systému. Softvér Cyclone, ktorým je skener spolu s počítačom riadený, má aj špeciálne funkcie modelovania zamerané práve na spracovanie mračna bodov. Výhodou tejto techniky je bezkontaktné meranie a krátky čas merania. Nevýhodou použitia laseru je v niektorých prípadoch nízka detailnosť a mŕtve uhly, teda priestory, kam laserový lúč nedosiahol. Vyskytujú sa najmä v zložitých a členených interiéroch. Jeden sken niekedy nepostačuje na úplne 3D zobrazenie celého (veľkého) objektu.

Priestorové súradnice každého bodu sú získané echolokáciou odrazu emitovaného laserového lúča. Tieto sú potom prekonvertované zo sférického súradnicového systému (uhol, vzdialenosť) do priestorového, ortogonálneho súradnicového systému, ktorý je registrovaný aj voči ostatným skenom toho istého objektu. Táto registrácia (určenie vzájomnej polohy a natočenia skenov) je veľmi dôležitá, pretože umožňuje spojenie viacerých skenov do jedného digitálneho objektu, čo je v súčasnosti predmetom postprodukcie, od ktorej závisí aj využitie mračna bodov. Technologické trendy sa snažia základnú postprodukciu (vzájomnú registráciu skenov a generovanie súvislého 3D povrchu) optimalizovať a začleniť priamo do procesu snímania. Dá sa teda očakávať, že výstupom 3D

¹¹ GOYER-WATSON, 1963, s.570

skenerov bude v budúcnosti uzavretý 3D povrch – CAD model v štandardnom formáte (napr. DXF¹², OBJ¹³). Mračno bodov, ktoré sa po spracovaní môže interpolovať do podoby digitálneho modelu povrchu alebo 3D modelu.¹⁴

1.4. KOMBINÁCIA FOTOGRAMETRIE A LASER SKENU

Obe metódy snímania 3D objektu majú svoje nesporné výhody i nevýhody. Fotogrametria je založená na fotografickom snímaní, má teda vysokú farebnú vernosť a lokálne je možné dosiahnuť vysokú mieru detailu. Pri nesprávnom snímaní sa však môžu vyskytnúť vysoké globálne odchýlky. Metódou snímania laser skenerom je možné dosiahnuť vysokú metrickú presnosť ($\pm 3\text{mm}$), no táto presnosť nemusí byť postačujúca na zachytenie potrebnej vyššej miery detailu a je nevhodná na zachytávanie farebných informácií potrebných pre tvorbu textúr.

Po komplexnej analýze existujúcich komerčne dostupných produktov sa dá konštatovať, že neexistuje optimálne softvérové riešenie, ktoré problematiku kombináciu fotogrametrie a laser skenu riešilo. Softvérová spoločnosť CapturingReality, ktorá sa venuje vývoju fotogrametrického softvéru bola ako z name oslovených jediná pripravená integrovať kombináciu automatizovaného spracovania fotogrametrických a Lidarových dát.

1.5. VYUŽITIE JEDNOTLIVÝCH METÓD SNÍMANIA 3D PRIESTORU VO FILME.

V posledných rokoch sa digitalizované dáta vytvárané pomocou fotogrametrie a laser skenu uplatňovali v architektúre, archeológii, kartografii, geodézii a v mnohých ďalších oblastiach. S postupným zdokonaľovaním týchto technológií sa začali viac využívať aj v komerčnej sfére a to hlavne vo filmovom priemysle.

Táto technika digitalizácie laser skenu a fotogrametrie je alternatívou k tradičným metódam modelovania a mapovania, a je to skvelý spôsob, ako rýchlo a presne zachytiť veľký priestor s mnohými objektmi, ako sú celé mestá alebo vonkajšie prírodné scenérie. Takto digitálne zosnímané dáta ponúkajú veľké možnosti využitia, najmä vo filmoch s rozsiahlym využitím vizuálnych efektov.

¹² DXF (Drawing Exchange Format) je CAD formát vyvinutý firmou Autodesk, umožňujúci výmenu dát medzi AutoCADom a ďalšími programami.

¹³ OBJ (Object file) – súborový formát vyvinutý firmou Alias|Wavefront, je to jeden z najstarších formátov zápisov 3D objektov.

¹⁴ <http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=LIDAR&oldid=653404480>

1.6. HISTORICKÝ VÝVOJ DIGITALIZÁCIE VO FILME

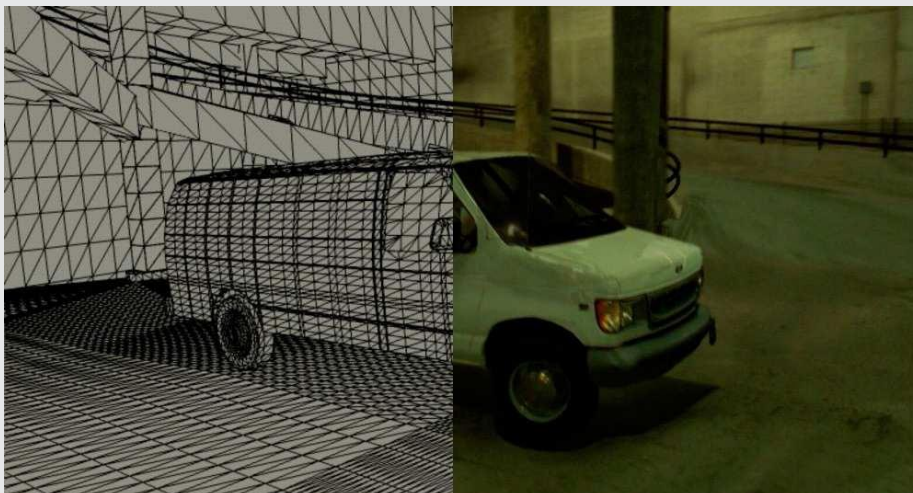
V prvopočiatkoch digitalizácie sa vo filmoch, kde bolo potrebné digitalizovať modely a následne ich rekonštruovať v počítači, používali digitalizačné ruky. Pre filmové zábery boli vytvárané sadrové modely, ktorých proporcie sa následne pomocou digitalizačných rúk prenášali do počítača. Takto boli prenesené desiatky kľúčových bodov, na základe ktorých bol domodelovaný kompletný model podľa predlohy. Digitalizačné ruky sa používali najmä z dôvodu dodržania rozmerov a proporcií daného modelu.



Obr. 1. Modelovanie hlinenej tváre (obr. vľavo), digitalizovanie hlineného modelu (obr. vpravo). In: <http://ivl.imnh.isu.edu>.

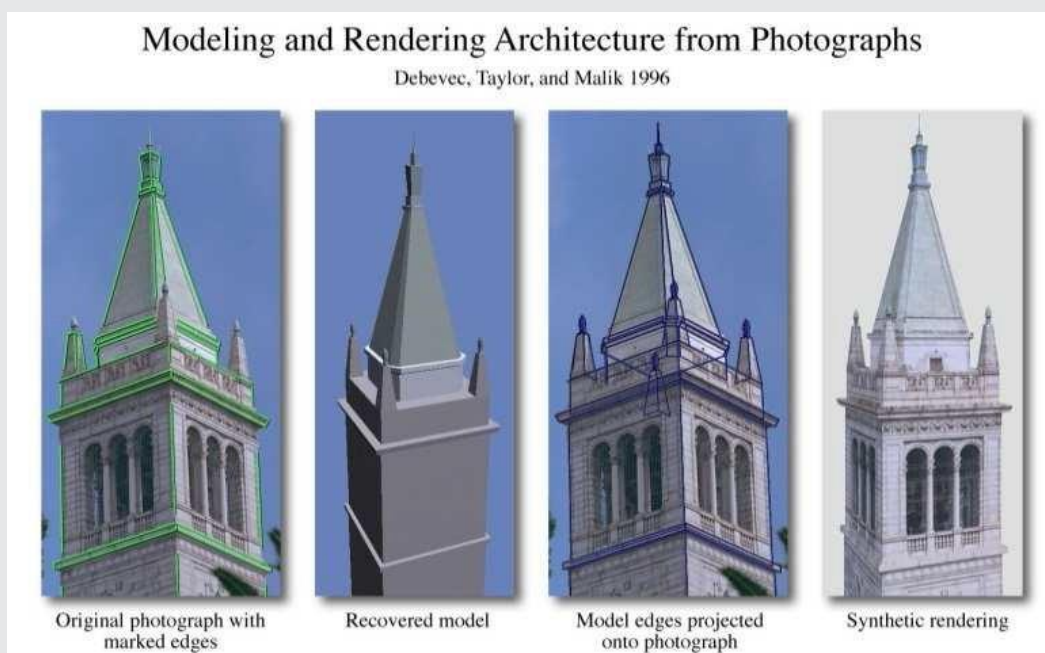
Ďalšou technikou digitalizácie, ktorá sa používala vo filme, je image based modeling, čo znamená modelovanie na základe fotografií. Touto metódou sa z fotografií modelovali veľmi jednoduché polygonálne objekty do takej miery detailu, aby objekt v pohybe kamery pôsobil dostatočne reálne a presvedčivo. Následne naň bola naprojektovaná fotografia daného objektu z rôznych uhlov tak, aby boli viditeľné miesta objektu pokryté textúrou.

Silnou stránkou tejto metódy bolo projektovanie fotografií, ktoré zabezpečilo realistický záznam priestoru aj s danou svetelnou atmosférou. Tým pádom nebolo potrebné scénu opäť nasvecovať zložitými technikami pre výpočet svetla.



Obr. 2. Ukážka sieťového a fotografiou otextúrovaného modelu. In: <http://buf.com>.

Prvé komerčne dostupné programy, zaoberajúce sa poloautomatickou technikou jednoduchého modelovania a merania na základe fotografie, boli ImageModeler od REALVIZ a PhotoModeler od Eos Systems. Pre korektný výpočet modelu v týchto programoch bolo potrebné vizuálne určiť minimálne pozície deviatich pevne viditeľných bodov na všetkých fotografiách pre definovanie správneho priestoru. Táto technika sa často používala pri digitalizácii architektúry, kde fungovala dokonale, nakoľko boli používané iba jednoduché objekty typu trojuholník, kocka, cylinder a guľa. Tieto jednoduché geometrické objekty sú úplne postačujúce, nakoľko sa na nich následne projektuje fotografia, z ktorej celok získa dostatočný detail a dôveryhodnosť.

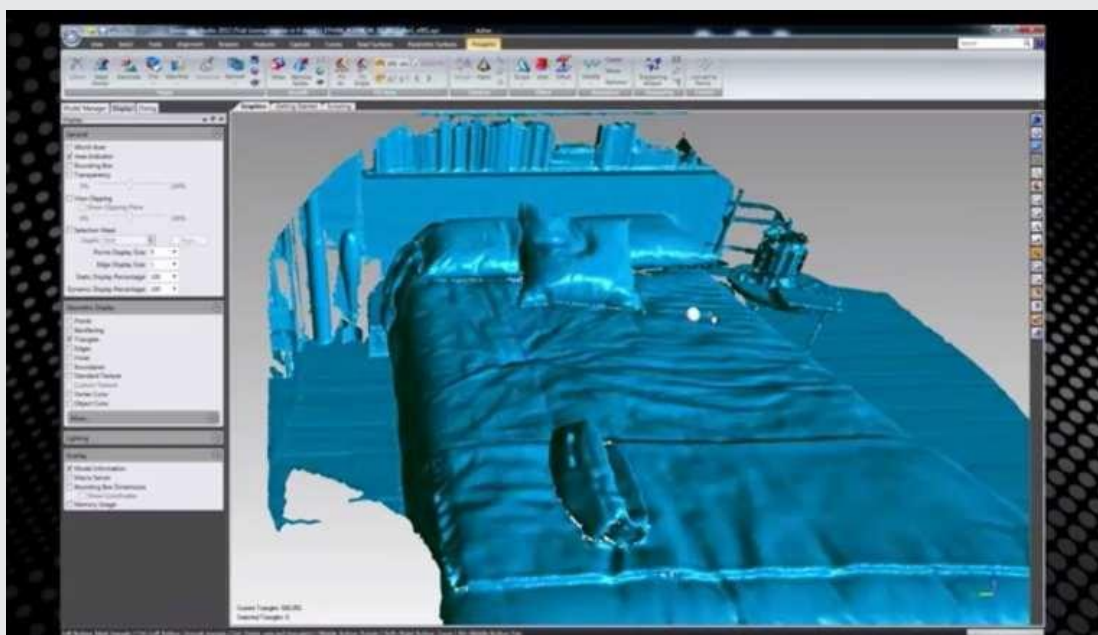


Obr. 3. Jednotlivé fázy modelovania na základe fotografie. In: <http://www.pauldebevec.com>.

Ak išlo filmárom o modelovanie organických tvarov, ako sú ľudské postavy, tváre alebo zvieratá, používali techniku digitálneho sculptingu¹⁵, ktorá takisto využíva fotografie. Prvým 3D softvérom, ktorý používal 3D sculping bola Maya od spoločnosti Alias|Wavefront. Neskôr prišli pokročilejšie techniky sculptingu a aplikácie Zbrush, Mudbox, 3D-Coat, ktoré držia prvenstvo na trhu doteraz.

Ďalšou digitalizačnou technológiou, ktorá sa postupne začala používať pre potreby filmu, sú laserové skenery. Či už ručné, na digitalizáciu menších objektov, alebo terestriálne na digitalizáciu väčších celkov. Prvýkrát bola táto technológia použitá vo filme *Nádherné bytosti* (2013) na zaznamenanie kompletnej lokácie.

¹⁵ Sculpting – technika digitálnej deformácie objektu podobajúca sa na prácu s hlinou.



Obr. 4. Ukážka vytieňovanej polygonálnej siete, vytvorenej z naskenovaných bodov. (Film Nádherné bytosti) In: itsartmag.com.



Obr. 5. Ukážka naskenovaného povrchu tváre z videoklipu skupiny Radiohead (House of Cards). Prvé použitie laserového skenera vo videoklipe. In: <http://www.glossyinc.com>

1.7. VYUŽITIE LASEROVÉHO SKENERA VO FILME

Digitálne dáta získané laserovým skenerom sú neoceniteľné pre ďalšiu prácu na vizuálnych efektoch, poskytujú údaje na previzualizáciu filmu a rovnako aj na procesy počas jeho výroby. Laserové skenery sa postupne dostávajú do výbavy tímov tvoriacich vizuálne efekty.

Táto technika je skvelý spôsob, ako rýchlo a presne dokumentovať veľký rozsah, ako sú celé mestá alebo vonkajšie prírodné scenérie, ako aj veľmi presne zachytenie detailov menších objektov. Skener dokáže zozbierať až milión bodov za sekundu a má dosah viac ako 100 metrov, takže dokážeme zoskenovať aj ťažšie dostupné objekty z dostatočného odstupu. Následný import zosnímaných dát do softvéru na ďalšie spracovanie je rýchly a jednoduchý. Rovnako veľmi rýchly je aj export v rôznych formátoch do iných aplikácií. To umožňuje prípravu základnej previzualizácie scény aj priamo na mieste a možnosť v krátkom čase doskenovať chýbajúce elementy a previesť menšie zmeny.

Technika laser skenu je tiež veľmi prínosná z hľadiska minimalizácie finančných nákladov, pretože umožňuje filmárom vytvárať zložitejšie scény za menšie náklady. Vďaka tejto technológii sme schopní vytvárať digitálne repliky, s ktorými môžeme manipulovať bez toho, aby sme potrebovali origináli. Využíva sa to predovšetkým vo filmoch, kde režisér potrebuje manipulovať s daným objektom bez toho, aby ho mohol poškodiť. Kedysi bolo potrebné prácne a nákladne vyhotoviť repliky, dnes sa za kratší čas a menej peňazí repliky dajú vytvoriť digitálne.

Vzhľadom na to, že náklady a čas na 3D skenovacie služby sú stále nižšie (pri zachovaní stále vysoko kvalitného výstupu), je vysoko pravdepodobné, že tento trend vytvárania filmových vizuálnych efektov pomocou 3D skenovania sa bude šíriť veľmi rýchlo a stane sa dostupným aj pre nízkorozpočtové produkcie.

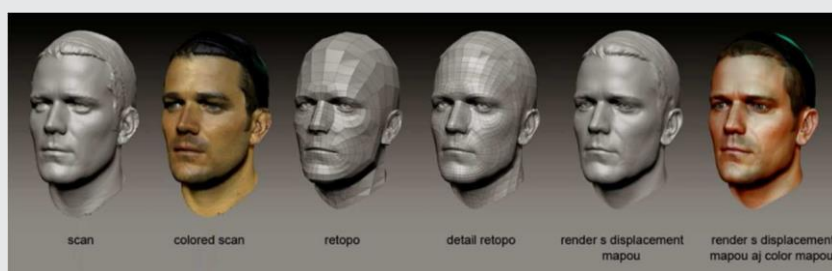
1.8. DIGITÁLNA REPLIKA – SPÔSOB VÝROBY

Spôsobov, ako si vytvoriť digitálnu reprezentáciu charakteru postavy, prostredia, či objektu je viac. Klasicky môžeme digitálnu repliku modelovať v tradičných 3D softvéroch od prvého vertexu či polygónu až po kompletný 3D model. Na základe referenčných fotografií sa modelovacími technikami prácne buduje topológia 3D modelu, v snahe zachytiť čo najvernejšie proporcie nafoteného modelu. V závislosti na zručnosti modelára a pokročilosti softvéru, ktorý používa, môže byť tento spôsob veľmi zdĺhavý a náročný.

Asi najrýchlejším a najefektívnejším riešením, ako prísť v súčasnosti k digitálnemu dvojníkovi, či už sa jedná o postavu, scenériu alebo jednoduchý objekt, je buď 3D sken daného objektu, fotogrametrické zachytenie alebo kombinácia oboch týchto metód.

Po naskenovaní a zároveň nafotení sa tieto dáta, teraz už vlastne point cloudy spájajú, zarovnávajú a čistia. Následne sa vytvára triangulovaný 3D model s vysokým rozlíšením, vo väčšine prípadov aj okolorovaný fotografiami. Z toho modelu sa dá získať displacement mapa¹⁶ a iné textúry na ďalšie použitie.

Pokiaľ ide o 3D model, ktorý má byť ďalej animovaný, prebieha ďalšie spracovanie. Model generovaný zo skenov, vzhľadom na svoju topológiu a počet polygónov (niekedy ide o desiatky miliónov polygónov), nie je vhodný na animáciu a posúva sa ďalej na proces retopologizácie (remeshing). Tu začína svoju prácu 3D modelár, ktorý na základe 3D modelu skenu vytvára nový jednoduchší povrch a tým aj nový 3D model charakteru. Prebieha to tak, že sa nová topológia meshu akoby lepí na podklad, ktorým je mesh z 3D skenu. Tento proces pomocou súčasných nástrojov špecializovaných len na tento úkon prebieha veľmi rýchlo. Najpopulárnejšie nástroje sú Topogun, Zbrush, 3dcoat, Mudbox atď. Niektoré programy majú dokonca aj plne automatizované nástroje, kde je potrebné len určitú časť modelu upraviť manuálne (tzv. autoretopologizácia). Samozrejme takmer vždy sú potrebné aspoň minimálne manuálne korekcie 3D modelára. Jeho práca končí konverziou vertexov¹⁷ povrchu do UV priestoru¹⁸. Prevedie 3D model na 2D plán a uskutoční unwrapping¹⁹, čím je model pripravený na animáciu a pre 3D texturing. Pri texturovaní modelu sa dá hovoriť o pridávaní detailu na objekt bitmapovým obrázkom. Takto otexturovaný 3D model je pripravený na následný rendering²⁰.



Obr. 6. Popis jednotlivých fáz tvorby 3D modelu zo skenu. In: niko3dart.blogspot.com

¹⁶ Displacement mapa - je to čiernobiely 2D obrázok podľa ktorého sa deformuje 3D objekt.

¹⁷ Vertex – je to bod, v ktorom sa stretávajú dve hrany polygónu. Ďalej pozri: <http://mathworld.wolfram.com/PolygonVertex.html>.

¹⁸ UV priestor – je to dvojdimenzionálny textúrovací koordinačný systém. Ďalej pozri: <http://knowledge.autodesk.com/support/maya/learnexplore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2015/ENU/Maya/files/UV-mapping-overview-Introduction-to-UV-mapping-htm.html>

¹⁹ Unwrapping – je to UV mapovacia projekcia, kde tento algoritmus rozloženia UV zamedzuje ich prekrytia (UVS). Ďalej pozri: <http://www.sidefx.com/docs/houdini14.0/nodes/sop/uvunwrap>

²⁰ Rendering – je to proces generovania obrazku z 2D/3D modelu počítačovým programom. Ďalej pozri: http://en.wikipedia.org/wiki/Rendering_%28computer_graphics%29.

1.9. LASER SKEN VO FILME WORLD WAR Z

Vytvoriť tisíce digitálnych zombie a umiestniť ich do počítačom generovaného prostredia, bola výzva pre spoločnosti Cinesite a MPC. Túto myšlienku realizovali s pomocou firiem 2h3D a 4DMax.

Spoločnosť 2h3D²¹ kompletne zdigitalizovala exteriérové lokácie, ľudské telá, kostýmy, automobily a rekvizity. Digitalizácia založená na skenoch sa realizovala v rôznych lokáciách ako Malta, Maďarsko, Škótsko. Spolu sa vytvorilo približne 100 hotových assetov²² digitálnych zombie. Digitalizované dáta boli dodané do spoločností MPC²³ a Cinesite²⁴, ktoré ich následne spracovávali.

Ich hlavnými nástrojmi boli Artec 3D²⁵ skenery a Leica Lidar²⁶. Jeden Artec MHT (pre snímanie hlavy/tváre a rekvizít) a jeden Artec L (pre snímanie tela a kostýmov) boli použité v spojení s motorizovanou točňou. Lidar skenerom boli nasnímané exteriérové prostredia. Zachytenie každého účinkujúceho trvalo menej ako 5 minút a skeny hláv boli vykonané za menej ako minútu. Skenovali sa ľudia od 6 do 60 rokov. Artec Studio štandardne dodáva "non-rigid alignment"²⁷ funkciu. Tento algoritmus pomáha operátorovi kvalitne naskenovať ľudské telo aj v prípade, že sa subjekt v priebehu skenovania pohybuje. Na generovanie a textúrovanie 3D modelu použili softvér artec studio²⁸. Tieto vysoko rozlíšené triangulované modely boli pripravené na následnú retopologizáciu²⁹ modelárskym tímom v MPC a Cinesite.

Spoločnosť 4DMax pomohla MPC s vytvorením veľkého množstva digitálnych zombie. Enormné množstvo zombie postáv si vyžadovalo špeciálny prístup ku skenovacím aj modelovacím postupom. Naskenovať tisíce zombie postáv by bolo príliš drahé a zabralo by veľa času, okrem toho toľko postáv zombie pri skenovaní ani na snímaní nemali. Riešením bolo naskenovať niekoľko mužských a ženských postáv, na ktoré sa neskôr kombinovalo veľké množstvo kostýmov a vytvoril sa tak dojem veľkej rôznorodej masy zombie.

²¹ 2h3d - Ďalej pozri: <http://www.2h3dscanning.com/>

²² asset - kompletne zrekonštruovaný a otextúrovaný model postavy

²³ MPC – Movie picture company - Ďalej pozri: <http://www.moving-picture.com/>

²⁴ Cinesite - Ďalej pozri: <http://www.cinesite.com/>

²⁵ Artec 3d - Ďalej pozri: <http://www.artec3d.com/>

²⁶ Leica LIDAR - http://www.leica-geosystems.com/en/Laser-Distancemeter_5061.htm

²⁷ Korekcia rozdielovej chyby medzi dvoma skenmi. Ďalej pozri:

<https://www.youtube.com/watch?v=epcGdGSP6Uw>

²⁸ <http://www.artec3d.com/>

²⁹ Retopologizácia – zmena parametrov 3D modelu – optimalizácia pre jeho ďalšie použitie.



Obr. 7. Ukážka 3D modelov ľudských postáv zo skenov. In:

http://www.artec3d.com/case_studies/Artec+scanners+were+engaged+in+the+making+of+%E2%80%9CWorld+War+Z%E2%80%9D_24439.

Pre túto úlohu použila firma 4Dmax systém Mephisto Cyber scanning³⁰. Takto zachytená vysoká detailnosť bola následne použitá na výrobu displacement máp a 6K farebných textúr³¹. Tieto dátové banky boli následne dodané modelárom v MPC, ktorých modelovací tím vytvoril 24 rozličných telesných typov s rôznymi textúrami. Ich kombináciou následne vygenerovali 3 000 zombie postáv použitých v davovej scéne.

1.10. VYUŽITIE FOTOGRAMETRIE VO FILME

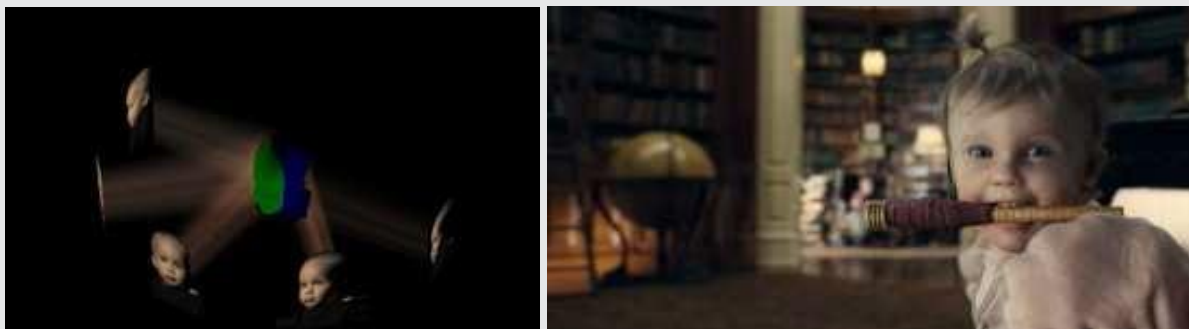
Jedným z prvých, ktorí efektívne využili vo filme metódu fotogrametrie bola spoločnosť Industrial Light & Magic³², ktorá za to bola v roku 2007 ocenená aj cenou Academy Awards za technický pokrok.

Fotogrametrická metóda vyvíjaná firmou ILM je súbor nástrojov určený na obnovenie detailnej geometrickej informácie z fotografií alebo filmových sekvencií. Využíva fotografie ako textúry na hustú rekonštrukciu povrchu s komplikovaným tvarom. Takýmto spôsobom sa dajú vytvoriť aproximované modely s jednoduchými tvarmi, aké boli použité vo filme *Minority Report* (2002), alebo aj modely s vysokým rozlíšením, aké boli použité vo filmoch *Lemony Snicket: Rada nešťastných príhod* (2004) alebo *Piráti z Karibiku: Truhlica mŕtveho muža* (2006).

³⁰ Mephisto Cyber scanning – Ďalej pozri: <http://www.4ddynamics.com/3D-scanners/>.

³¹ 6K rozlíšenie - 2D obrázok, kde jedna strana obrázku má minimálne 6144 bodov.

³² ILM - Industrial Light & Magic – Ďalej pozri: <http://www.ilm.com/>



Obr. 8. Ukážka modelovania hlavy z projekcie obrázkov vo filme Lemony Snicket.

In: dostupné na: http://www.fxguide.com/featured/the_technical_oscars_ilm_and_the_foundry/

Proces rekonštrukcie modelu z fotografií zvyčajne začína z dvoch alebo viac fotografií objektu, z ktorých sa vytvára projekcia geometrie. V závislosti na požadovanom výstupe, môže špecialista na úpravu 3D modelov určiť oblasti na fotografii na lepšie vykreslenie siluety obrysov, na lepšie bodové alebo obrazové korešpondencie a následne môže začať rekonštrukciu modelu. Ďalej môže voliteľne použiť interaktívne nástroje pre opravu chýb rekonštrukcie. Typická doba rekonštrukcie pre rýchlu výrobu modelu z niekoľkých snímok môže byť 15 minút, zatiaľ čo vysoko presné modelovanie tváre môže zabráť aj niekoľko hodín.

V priebehu piatich rokov bol tento systém aplikovaný na širokú škálu objektov, vrátane budovania organických virtuálnych prostredí, hereckých dvojníkov, detailných tvárí hercova rôznych iných objektov.

1.11. KOMBINÁCIA FOTOGRAMETRIE A LASER SKENU VO FILME POMPEJE

Vďaka najmodernejším digitalizačným technikám súčasnosti dokážu filmári priviesť k životu aj dávno zaniknuté historické lokality, ako napríklad staroveké mesto Pompeje, ktoré bolo zničené sopkou Vezuv pred takmer 2000 rokmi. Táto historická látka sa stala námetom na akčný film v ktorom mohli filmári naplno využiť najnovšie digitalizačné techniky pre zvýšenie historickej presnosti počítačom generovaného prostredia, ktoré bolo vo filme použité.



Obr. 9. 3D model vytvorený zo skenu vo filme Pompeje.

Na digitálnu rekonštrukciu mesta boli použité laserové skeny budov a ulíc spolu s leteckými fotografiami súčasnej archeologickej lokality v Pompejoch, ktoré tvorili základ pre ďalšiu prácu v postprodukcii.

O tom, ako verne napokon vyzeralo digitálne vytvorené staroveké mesto, najlepšie vypovedá archeologička Sarah Yeomans z West Virginia University, popredná odborníčka na Pompeje, ktorá tvrdí, že sa filmárom podarilo do značnej miery presné vykreslenie rozvrhnutia starobylého mesta. Ďalej vyzdvihla veľkú pozornosť detailom, ako sú vyvýšená dlažba v uliciach, alebo grafity na budovách.³³ Tento film sa stal úspešným nielen u fanúšikov milostných príbehov, ale je aj pastvou pre oči archeológov.

2. KAMEROVÝ RIG MOTION CONTROL³⁴

2.1. HISTÓRIA KAMEROVÝCH RIGOV A ICH VYUŽITIE VO FILME

Motion control je zariadenie používané najmä pri produkcii vizuálnych efektov a trikových scén, kde je potrebné polohu a rýchlosť zariadenia ovládať pomocou ďalších zariadení typu hydraulických púmp, alebo elektrických motorov či servo motorov. Tu sa do popredia dostali servo motory, nakoľko sa vyznačujú vysokou presnosťou pohybu. Táto vysoká presnosť umožnila takýmto systémom trajektóriu kamery znova identicky zopakovať. Pri trikových scénach sa takéto techniky dnes používajú najmä pri výmene pozadia, replikácii ľudí v davových scénach a pod.

História a počiatok výroby všetkých takýchto počítačovo ovládaných systémov začína pri produkcii Hollywoodských filmov. Pri rozpočtoch dosahujúcich astronomické sumy bolo možné v predpríprave filmu venovať mesiace vývoja robotickým systémom, ktoré boli vo veľa prípadoch použité pre jeden jediný záber filmu. Všetky tieto systémy boli vždy navrhované s ohľadom na jednoduchú montáž a manipuláciu, nakoľko pri filmovej produkcii bolo potrebné meniť lokáciu pomerne často z dôvodu úzkeho časového plánu pre jednotlivé zábery. Predchodcami takto zložitých systémov boli v

³³ http://www.huffingtonpost.com/gregory-weinkauf/archaeology-professor-sar_b_4855981.html. Citované dňa 20.3.2015.

³⁴ Kamerový rig – je kinematická konštrukcia slúžiaca na optimalizovanie pohybov kamery.

prvopočiatkoch jednoduché kamerové vozíky na koľajniciach, ktoré už vtedy ponúkali nezvykle plynulé jazdy kamier za pomoci ľudského pohonu. Tieto sa používajú až dodnes.

Kamery uchytené na lankách s elektromotormi boli ďalším krokom obohacujúcim film o zábery, ktoré by nebolo možné natočiť z ľudskej perspektívy. Ďalším krokom vo vývoji týchto mechanických systémov boli Jib systémy, alebo predĺžené ramená určené na zábery z väčšej výšky (väčších celkov), ktoré pracovali na princípe protizávažia kamery a akýkoľvek pohyb bol vyvážený a plynulý. Rovnako boli vyvíjané rôzne druhy teleskopických ramien so snahou eliminovať pri tomto druhu pohybu tzv. kmitanie ramena (nakoľko dĺžky ramien presahovali pevnosti materiálov). Keďže s pomocou všetkých týchto mechanických systémov nebolo možné záber zopakovať (boli ovládané človekom), bolo potrebné vyvinúť systém, ktorý by tieto limity prekročil. Tým by bolo možné posunúť trikové scény na vyššiu úroveň. Prvým elektronicky ovládaným robotickým systémom s bezvôľovými motormi s vysokou presnosťou je systém MILO, ktorý vyvinuli Markom Robertsom, Ronan Carroll, Assaff Rawner v roku 1993 a za ktorého dostali od Academy Awards v roku 1999 Oscara za vedecký a technický pokrok. Dodnes sa s jeho pomocou natáčajú tie najefektnejšie zábery do filmov a reklám.

Systém umožňuje metódu Target Tracking, pri ktorej si systém automaticky volí pohyb jednotlivých častí tak, aby bolo možné dosiahnuť dostatočnú rýchlosť pri čo najplynulejšom pohybe. Na takýto systém je možné umiestniť filmovú kameru ako i fotoaparát, a tým použiť systém na fotenie napr. stop motion animovaných filmov a rovnako tiež dosiahnuť v záberoch plynulý pohyb kamery, ktorý bez takto presne kontrolovaného pohybu nie je možné natočiť. Súčasne je možné počas pohybu elektronicky ovládať prvky a parametre kamery, ako je ostrenie či clona. Dodnes sa ani jeden z týchto systémov nepokazil. Systém MILO bol použitý na nespočetne veľkom množstve filmov z hollywoodskej produkcie – Statočné srdce (1995), Blade (1998), Gladiátor (2000), Mission Impossible II. (2000), Minority Report (2002), Harry Potter (2001-2011), X-Men (2000), Pí a jeho život (2012) a mnohých ďalších.



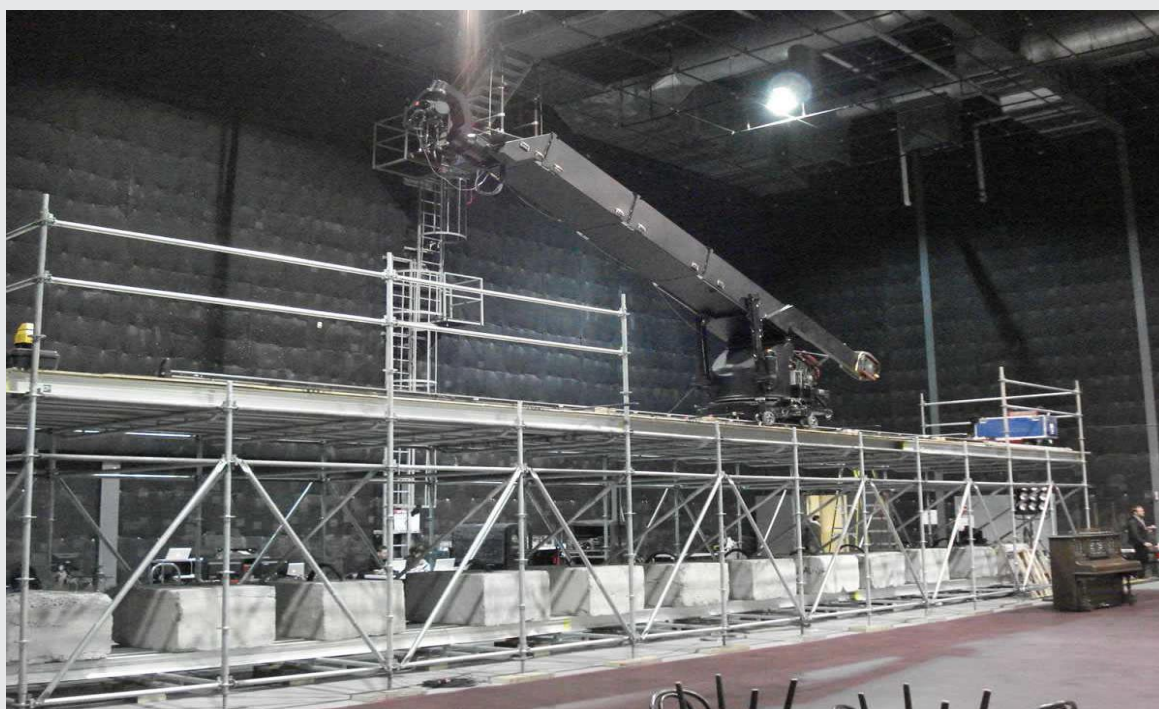
Obr. 10. MILO na natáčaní v Normandii a Obr. 11. Jack Black na natáčaní filmu Gulliverove cesty (<http://www.mrmoco.com/gallery/photo-gallery/>).

2.2. POPIS A CHARAKTERISTIKA KAMEROVÉHO RIGU MILO MOTION CONTROL

MILO je robotický motion control kamerový rig o dĺžke ramena tri, alebo šesť metrov. Šesťmetrové rameno sa väčšinou neprenáša a používa sa na pevnom mieste v interiéri, nakoľko rameno takej dĺžky je veľmi citlivé a v prípade častého prenášania by sa mohla výrazne znížiť jeho presnosť. Kamerový rig MILO motion control je navrhnutý tak, aby ho bolo možné jednoducho zložiť a rozložiť v prípade častej potreby premiestnenia na inú lokáciu. Vo veľkej miere sa teda pri výrobe prihliadalo na mobilitu celého systému. Systém je možné rozložiť na sedem väčších celkov za pomoci minimálne dvoch ľudí. Na mieste natáčania je možné ho zložiť do prevádzky za 35 minút. Tento systém je kompletne ovládaný elektronickým modulom, ktorému je možné zadávať príkazy priamo z počítača pomocou softvéru Flair. Nakoľko MILO váži približne 500 kg, uviesť takúto hmotu do rýchleho pohybu pomocou elektromotorov a viesť ju v prípade potreby rýchlo zastaviť môže viesť v prípade ľudskej chyby či nepozornosti k poškodeniu systému, alebo k nehode. Pri vývoji sa myslelo aj na tieto problémy a do systému boli zapracované magnetické limity, ktorými sa určia maximálne hranice polohy systému. Systém je navrhnutý tak aby tieto limity nikdy neprekročil.

Výstupom systému môže byť digitálny zápis trajektórie pohybu kamery, to znamená, že je možné preniesť kompletný pohyb kamery do počítača a ďalej s ním pracovať.

Ak sa preniesie takto natočený záber do počítača a spojí s identickým pohybom virtuálnej kamery, je možné pridávať do záberu akékoľvek iné prvky a výsledok bude v rámci pohybu kamery pôsobiť stále prirodzene.



Obr. 12. Kamerový rig Milo s predĺženým ramenom pripravený na natáčanie celovečerného film Upside Down v Kanade (<http://www.mrmoco.com/gallery/photo-gallery/>).

3. PRAKTICKÁ REALIZÁCIA NASNÍMANIA ŠPORTOVÉHO VÝKONU S POUŽITÍM MODERNÝCH TECHNOLOGÍÍ. PRÍKLADOVÁ ŠTÚDIA

Dosiahnutie pocitu jedinečnosti prekvapenia v jedno-záberovom reklamnom spote. Možnosť pracovať s hrou svetla a tieňa a s kontrastom moderných športových výkonov v historických priestoroch. Stretnutie starých zaužívaných postupov s hľadaním postupov nových počas samotnej realizácie. Ladné krasokorčuliarky snímané mohutnou robotickou technológiou. Všetky tieto kontrasty sú tým, čo dáva dobrý predpoklad k tvorivému procesu na spote Tanec v čase.

3.1. PREDMET REALIZÁCIE ŠPORTOVÉHO VÝKONU A LOKÁCIE

Objektom práce je snímanie umelecko-športového výkonu krasokorčuliarok a historický interiér *Sala terrena* na hrade Červený kameň. Súčasne je to aj prenos deja nasnímaného v určitom priestore, jeho prenos do zdigitalizovaného reálne existujúceho priestoru a následná fáza postprocesingu.

Predmetom výskumu je experiment, ktorý pozostáva z prenosu výkonu reálnych postáv do zdigitalizovaného existujúceho priestoru (v našom prípade *Sala terrena* na Červenom kameni) neštandardnými spôsobmi. Nasnímané video prenosieme do priestoru, ktorý je zdigitalizovaný (prevedený do digitálnej podoby verne reprezentujúcej originálnu predlohu).

3.2. CIEĽ REALIZÁCIE

- poznať dostupné technologické postupy pri digitalizácii existujúcich objektov (v našom prípade historického interiéru), akými sú laserové snímanie a fotogrametria
- preskúmať doterajšie techniky vytvárania 3D virtuálnych modelov
- overiť použitie technológie MILO Motion Control od spoločnosti Mark Roberts Motion Control s cieľom dosiahnuť pocit jedného záberu
- vytvoriť svetelnú atmosféru priebehu celého dňa
- prispieť k presnejšiemu poznaniu týchto technológií a postupov
- stanoviť možnosti a východiská skúmaného procesu

3.3. NÁMET A SCENÁR

NÁMET

Pri hľadaní námetu reklamného spotu sme primárne vychádzali z potreby kombinácie reálne nasnímaného deja a umelo vytvoreného priestoru (v našom prípade verne reprezentujúceho existujúcu reálnu predlohu). Aby však celá práca nebola len čisto technickým či technologickým experimentom, rozhodli sme sa preniesť celú prácu do dvoch navonok protichodných prostredí. Prvým je, nám dôverne známe, prostredie zimných štadiónov, krasokorčuliarov a hokejistov. Druhým je prostredie, s ktorým sme sa v poslednom období oboznámili veľmi detailne – historická miestnosť *Sala terrena* na hrade Červený kameň. Ani táto voľba, hoci vychádza z našej bezprostrednej skúsenosti a s prihliadnutím na naše možnosti praktickej realizácie, však nebola samoúčelná. Kontrastom dvoch radikálne rozdielnych prostredí sme chceli zvýrazniť princíp prenesenia reálneho deja (z prostredia zimného štadiónu) do prostredia „nereálneho“, teda prostredia, v ktorom divák tento dej určite neočakáva (historická miestnosť na hrade). Navyše takýto kontrast dvoch špecifických prostredí nám umožnil komunikovať okrem technickej a formálnej stránky aj stránku ideovú – vzhľadom na neľahkú situáciu s financovaním mladých športovcov na Slovensku je ich športová budúcnosť neistá a s jemnou nadsádzkou sa dá povedať, že sa možno jedného dňa na naše bývalé úspechy budeme chodiť pozeráť už len do múzeí. Táto ideová línia tvorí námet, ktorý spĺňa špecifické požiadavky kombinácie cudzích prostredí (s možnosťou praktickej realizácie) i vnútorného zmysluplného odkazu pre diváka.

SCENÁR

Vychádzajúc z námetu sme si pri tvorbe scenára položili základnú otázku – ako ilustrovať situáciu, naplnenia smutnej vízie, v ktorej sa ľudia chodia do múzea pozeráť na to, ako sa „kedysi“ športovalo. Technický zámer práce nám priamo nielen umožnil, ale doslova ponúkol riešenie v explicitnom vizuálnom popise tejto na pohľad absurdnej situácie. Optimálne je viesť diváka do priestoru a miesta, ktoré je mu viac-menej dôverne známe a postupne túto jeho dôvernosť narúšať až k prekvapivej pointe, v ktorej absurdita situácie umocní vnímanie hlavného odkazu.

Prenesenie deja zo zimného štadiónu do prostredia múzea nám ponúklo dve hlavné možnosti – využitie postáv krasokorčuliarok alebo použitie témy hokejistov. Z ideového hľadiska sú tieto možnosti rovnocenné, z praktického hľadiska je použitie motívu krasokorčuliarok výhodnejšie (menší počet postáv na technické spracovanie vo fáze kompozitingu, voľnejšia „ruka“ vo fáze strihu s možnosťou lepšej kombinácie jednotlivých klapiek a fáz akcií a pod.).

Dejovú líniu sme postavili na nasledovnom princípe – divák sleduje v tmavom prostredí fragmenty vystúpenia krasokorčuliarok, elegantne poskladaných do ladnej obrazovej mozaiky. Postupne sa z tmavého prostredia (o ktorom predpokladáme že je to potemnený zimný štadión) začínajú vynárať fragmenty, ktoré nám prezrádzajú, že sa dej odohráva v prostredí historickej sály. Tento prerod je pomalý, prebieha počas celej jazdy kamery okolo ľadovej plochy a vrcholí až v závere, kedy sa táto skutočnosť odhalí naplno. V závere tak objavíme v obraze aj divákov, ktorí sú zároveň návštevníkmi múzea, a tak sú v podstate tými, ktorí sa „prišli pozrieť na expozíciu športových disciplín“. Celý

tento obrazový prerod je realizovaný v jednej na pohľad súvislej kamerovej jazde, aby postupná zmena nebola obrazovo rušená formálnymi strihmi a nenarušila „magickosť“ prechodu zo známeho (i keď len tušeného) do absurdného prostredia. Tento pocit zároveň umocňuje vizuálny koncept plynutia času, keď sa počas celej jazdy kamery mení osvetlenie priestoru simulujúce zrýchlenú zmenu denných fáz od východu slnka (úvod jazdy, prítomie tušeného zimného štadiónu) až po poludnie (záver jazdy, naplno priznaný priestor *Saly terreny* s divákmi). Jazda kamery je realizovaná pomocou motion control systému¹, čo nám umožní integráciu reálne zosnímanej akcie do virtuálneho zdigitalizovaného priestoru.

Z hľadiska technickej realizácie scenára vyplýva niekoľko základných predpokladov. Prvým je snímanie reálnej akcie kamerou s vyššou obrazovou frekvenciou (optimálne 200 fps²) pri zachovaní dostatočného rozlíšenia a obrazovej kvality (obrazový šum a farebná informácia) s ohľadom na ďalšie spracovanie vo fáze postprodukcie (klúčovanie, rotoscoping, re-lightning a pod.). Z možných dostupných technických riešení sme zvolili kameru Arri Alexa³, ktorá tieto predpoklady spĺňa.

Druhým predpokladom je použitie motion control systému, ktorý by nám umožnil natočiť reálnu akciu v niekoľkých chodoch spôsobom potrebným na neskoršie umelecké stvárnenie „fragmentov“ krasokorčuliarskych figúr, odohrávajúcich sa zdanlivo v jednej jedinej kamerovej jazde. Na tento účel sme použili MILO motion control systém od spoločnosti Mike Roberts Motion Control, s ktorým máme už pomerne bohaté praktické skúsenosti. Fyzické limity zariadenia (dĺžka ramena, maximálny zdvih a pod.) spolu s komplexnosťou záberu (prakticky 270-stupňová kamerová jazda) neumožňujú natočiť takýto záber v rámci jednej zmysluplnej kamerovej jazdy. S ohľadom na možnosti použitých technológií by však tento problém bolo možné eliminovať kombináciou dvoch záberov, kedy by sa jeden plánovaný záber rozdelil na dve polovice, spojené v najvyššom bode kamerovej jazdy naprogramovaním identických parametrov pre motion control zariadenie. Toto riešenie by nám umožnilo natočiť prvú polovicu kamerovej jazdy a zodpovedajúce herecké (športové) akcie, následne premiestniť osvetľovaciu techniku, prekonfigurovať motion control zariadenie a upraviť pozície kamery tak, aby po nadviazaní záberov a akcií v nich vznikol pocit homogénneho priestoru a súvislej akcie.

Tretím predpokladom, najmä s ohľadom na fázu postprodukcie, bolo použitie pomocných prvkov pri natáčaní – čiernych vykrývacích a zelených klúčovacích plôch. Toto bolo možné s ohľadom na rozsah, časové a finančné obmedzenia realizovať iba čiastočne v najpotrebnejších fragmentoch (napr. pri natáčaní divákov vo finálnej fáze jazdy).

Poslednou výraznejšou technickou požiadavkou bolo použitie pomocného snímania krasokorčuliarok z rôznych uhlov protipohľadu hlavnej kamery, ktoré by nám malo umožniť vkladanie fragmentov postáv do jednotlivých reflexných plôch virtuálneho prostredia (pozlátané časti interiéru, zrkadlá a pod.). Takto by sme mohli zvýšiť úroveň realizmu pri integrácii živej a virtuálnej časti scény. Toto pomocné snímanie bolo vzhľadom na svoj doplnkový charakter realizované pomocou digitálnych fotoaparátov.

3.4. OVERENIE FOTOGRAMETRICKÝCH METÓD SNÍMANIA OBJEKTŮV A PRÍPRAVA PRACOVNÝCH POSTUPOV VYTVORENÝCH AUTOROM PROJEKTU PRED PROCESOM DIGITALIZÁCIE VYBRANÉHO OBJEKTU

Veľkou výhodou v procese prípravy na realizáciu digitalizácie vybraného objektu bola v našom prípade nielen podrobná znalosť teoretických princípov a postupov, ale aj bohatá praktická skúsenosť, vychádzajúca z predchádzajúcich realizácií digitalizácie architektonických objektov. Tieto skúsenosti nám umožnili výrazne zoptimalizovať prípravu, vyhnúť sa zbytočným krokom a eliminovať nespoľahlivé, či nepresné postupy. Vychádzajúc z teoretických znalostí a praktických skúseností, rozhodli sme sa modifikovať nami overené postupy s cieľom ich maximálnej optimalizácie. To nám poskytlo výborné podmienky pre návrh jedinečných postupov, ktoré sme chceli v tomto projekte overiť aj prakticky. Ich jedinečnosť vychádzala zo špecifických požiadaviek pri filmovom použití (hlavne s dôrazom na možnosti dodatočných zmien svetelných atmosfér) a zároveň zo snahy o maximálnu technickú mieru detailu (voľnosť pohybu kamery bez obmedzenia šírky záberu, resp. miery detailu). V prípade úspešnej realizácie by tak koncept týchto postupov mohol slúžiť ako prototyp pre prakticky univerzálne použiteľné metódy špeciálnych filmových vizuálnych efektov.

Všetky fotogrametrické metódy vychádzajú z prvej fázy zberu dát. Zber dát v tomto prípade primárne pozostáva zo samotného fotografovania, ktoré je súčasťou komplexu viacerých činností, ktoré mu predchádzajú a ktoré nasledujú v rámci procesu zberu a triedenia dát pre fotogrametriu. Zber dát pre fotogrametriu obsahuje aj vytvorenie čiastkového zjednodušeného 3D modelu objektu už počas snímání objektu pre overenie správnosti voľby metód snímání a rozsahu snímání objektu.

Tento opis zberu dát pre fotogrametriu sa týka hlavne fotogrametrie architektonických objektov a architektonických celkov, prípadne nadrozmerných objektov, ktoré nie je možné nafotografovať v na to usporiadanom ateliéri.

3.5. POPIS PRÍPRAVY PRED ZBEROM DÁT

Detailná obhliadka objektu s cieľom výberu správnych postupov.

Súčasťou obhliadky môže byť aj vytvorenie dokumentačných fotografií. S obhliadkou je spojené aj zhodnotenie prístupnosti jednotlivých častí objektu na fotografovanie. Pokiaľ sa jedná o neprístupné časti objektu v sťaženom teréne, je nutné aj naplánovanie výstupu, prípadne zlaňovania pomocou horolezeckej techniky. Pre nedostupné časti objektu je nutné naplánovať fotografovanie pomocou dronu,³⁵ alebo inými leteckými prostriedkami.

³⁵ Dron – bezpilotné lietajúce zariadenie.

3.6. ZÍSKANIE PRIBLIŽNÝCH PLÁNOV OBJEKTU FOTOGRAMETRIE

Cieľom je získanie akýchkoľvek plánov alebo rezov objektu, ktoré výrazne napomôžu orientácii v samotnom objekte. Takýto plán je veľmi dôležitý pre logistiku označovania nasnímaných dát. Ak sa takýto materiál nepodarí získať, je nevyhnutné si približnú mapu vytvoriť. V prípade starších architektonických budov je najlepším zdrojom plánov archív Pamiatkového úradu. Na niektorých lokáciách poslúžia aj požiarno-evakuačné plány. Veľmi problematické môžu byť opakujúce sa architektonické prvky, ktoré vyzerajú v nasnímaných dátach identicky.

3.7. POPIS POUŽITEJ TECHNOLOGIE

- digitálny stredoformát³⁶ PhaseOne
- kamera GoPro Hero 3+
- zrkadlovka Nikon D800E/D810
- Panoramatická hlava Rodeon VR-Station HD
- statív NEDO Industrial Line
- blesky Nikon Speedlight SB-910
- blesky ProFoto

Jeden z najkvalitnejších fotoaparátov je stredoformát PhaseOne, ktorý sa obyčajne používa k vyhotoveniu fotografie architektúry ako celku. Nie je však vylúčené ani jeho použitie v interiéri. Tento 80-megapixelový fotoaparát v spojení s optikami Carl-Zeiss ponúka doteraz najvyššiu mieru detailu. Jeho nevýhodou je pomerne malá rýchlosť, vysoká hmotnosť a extrémne vysoká cena.

Na opačnej škále použiteľnosti je "akčná" kamera GoPro, ktorá v režime vyhotovenia digitálnej fotografie ponúka 12-megapixelové rozlíšenie. Táto malá a ľahká kamera sa dá ľahko umiestniť tam, kde je málo priestoru alebo náročný prístup. GoPro je možné umiestniť na teleskopickú tyč, dá sa ovládať na diaľku a ponúka náhľad priamo do mobilného telefónu cez Wi-Fi signál. Veľkou nevýhodou je však nemožnosť použitia výbojkových bleskov, ktoré sa využívajú najmä na dofotenie vrchov umeleckých diel, alebo iných ťažko dostupných detailov.

Najuniverzálnejším fotoaparátom na fotogrametrické snímkovanie sú zrkadlovky Nikon D800E a Nikon D810. Rozlíšenie ich full frame³⁷ snímača je 36 megapixelov. Spolu s výbojkovým bleskom Nikon Speedlight SB-910 a optikami Nikkor rady "N" ponúkajú vysoký výkon, mieru detailu, rýchlosť a pre

³⁶ Stredoformát – fotoaparát, ktorý využíva snímače väčšie než 35mm.

³⁷ full frame – veľkosť 36x24 mm, čo je veľkosť klasického filmového políčka.

dané použitie aj nezanedbateľnú mieru spoľahlivosti. Požívajú sa na snímanie najväčšieho množstva snímok používaných vo fotogrametrii.

Programovateľná hlava Rodeon VR-Station HD je robotické zariadenie určené na panoramatické snímanie z nodálneho bodu³⁸.

3.8. METÓDY A POSTUPY FOTOGRAMETRICKÉHO POZEMNÉHO ZBERU DÁT

Snímanie objektu sme realizovali dvoma metódami snímkovania:

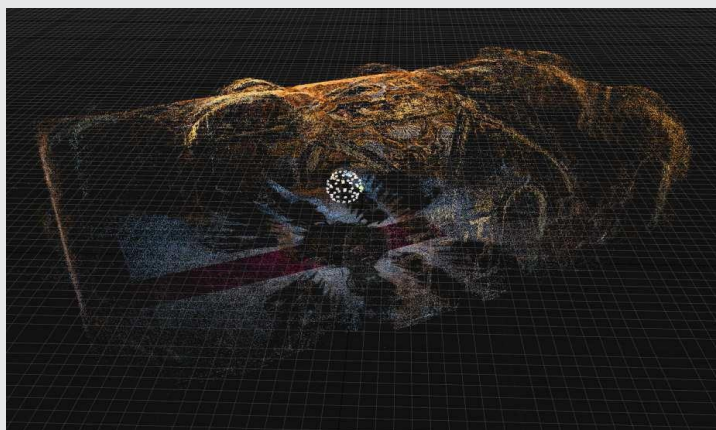
Prvá metóda snímkovania je pomocou robotickej programovateľnej panoramatickej hlavy Rodeon VR Station HD, umiestnenej na statíve. Túto metódu sme si označili ako *"robotické snímkovanie zo statívu"*. Panoramatická hlava má fotoaparát vyosený voči osi nodálneho bodu.

Druhá metóda fotogrametrickeho snímkovania je fotografovanie bez statívu z ruky, ktoré označujeme ako *"ručné snímkovanie"*.

Oboma metódami je možné nasnímať objekt tak, aby z každej z nich mohol vzniknúť kvalitný 3D model objektu samostatne. Najlepšiu kvalitu výsledkov výstupného modelu sa podarilo dosiahnuť kombináciou obidvoch metód fotogrametrickeho snímkovania. Kombináciou metód *"robotického snímkovania zo statívu"* a *"ručného snímkovania"* je možné pokryť väčšinu objektu. Najčastejšie zostávajú nepokryté časti objektu, ktoré sa dajú snímkať len letecky - napr. vrchy vysokých múrov a vežičiek.

Výhodnejšie je objekt najprv nasnímať metódou *"robotického snímkovania zo statívu"*, pokiaľ sa dá s čo najmenšími časovými prestávkami. Nepresnosti modelu môžu byť spôsobené posunom predmetov, ktoré sa vyskytujú v rámci objektov fotogrametrickeho snímkovania. Najčastejšími problémami sú napr. posunuté stoličky, posunuté koberce alebo posunuté rôzne ozdobné prvky. Panoramatická hlava *"robotického snímkovania zo statívu"* snímkuje v rozsahu 360° na horizontále a 90° až -40° na vertikále. Jedno postavenie panoramatickej hlavy tak nasnímuje pomerne veľkú časť priestoru objektu. Veľký priestor ktorý jedno postavenie panoramatickej hlavy pokrýva znamená aj veľmi veľké riziko posunutia rôznych predmetov medzi jednotlivými postaveniami panoramatickej hlavy. Preto je dôležité objekt touto metódou nasnímať v čo najkratšom čase aby sa čo najviac znížilo riziko posunutia predmetov. Pri *"ručnom snímaní"* riziko posunu predmetov v rámci objektu snímkovania nie je až tak vysoké, vzhľadom na menšiu časť priestoru ktorú v porovnaní s panoramatickou hlavou pokrýva.

³⁸ nodálny bod – stred optickej sústavy.



Obr. 13. Ukážka "robotického snímkovania zo statívu" v teréne (obr. vľavo).

Obr. 14. Ukážka mračna bodov zo spracovaných dát "robotického snímkovania zo statívu" (obr. vpravo.)

Kvalita fotografií z "*robotického snímkovania zo statívu*" je výrazne lepšia ako z "*ručného snímkovania*". Panoramatická hlava je umiestnená na robustnom statíve a preto majú fotografie s jej použitím výrazne lepšiu ostrosť.

Hlavným limitom hustoty postavení "*robotického snímkovania zo statívu*" je časový faktor. Táto metóde je pomerne náročná na rozoberanie, prenášanie a skladanie zariadenia. Sú priestory, kde sa nedá použiť vôbec - napríklad úzke chodby, točité schody a pod. Problémové je aj jej použitie vedľa rôznych vysielačov a antén, kde dochádza k rušeniu jej ovládania - napr. vrcholky veží a strechy budov.

Ideálne je rozostaviť jednotlivé postavenia "*robotického snímkovania zo statívu*" tak, aby každý bod objektu bol nasnímaný aspoň z troch postavení. To ale nie je vždy možné dodržať a preto sa "*robotické snímkovanie zo statívu*" kombinujeme s "*ručným snímkaním*". Postavenia "*robotického snímkovania zo statívu*" sa dajú výborne variovať pomocou statívu NEDO Industrial Line, ktorý umožňuje zdvihnúť panoramatickú hlavu až do výšky cca. 6 m. Výrazne sa tak zvyšuje veľkosť priestoru, ktorý panoramatická hlava pokryje.



Obr. 15. Ukážka "robotického snímkovania zo statívu" pomocou statívu NEDO Industrial Line.

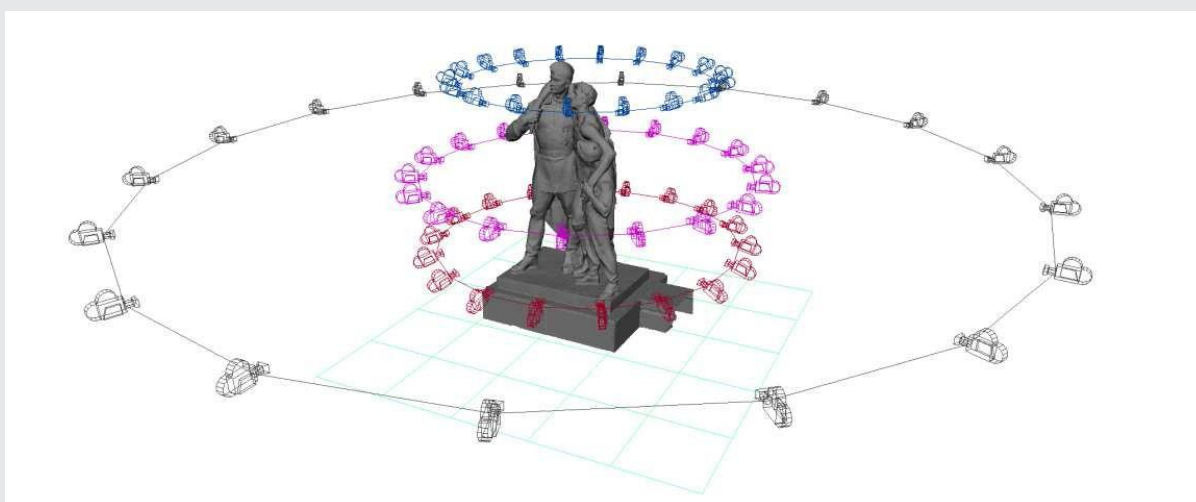
Spodný limit vertikálneho výklonu panoramatickej hlavy je -40° , preto nenasnímkuje priestor pod ňou od -40° do -90° . Spodok sa po dokončení jedného postavenia "*snímkuje ručne*", podobne ako

spodok pri panorámach 360x180°. Panoramatická hlava tak pokryje priestor - 360° na horizontále a 180° na vertikále.

Pre lepšiu orientáciu pri spracovávaní dát je dobré zaznamenávať jednotlivé postavenia "robotického snímkovania zo statívu" do vopred pripravených plánov.

Po nasnímaní objektu metódou "*robotického snímkovania zo statívu*" nasleduje "*ručné snímkovanie*". Táto metóda sa realizuje pomocou výsuvnej karbónovej teleskopickej tyče na ktorej je umiestnený fotoaparát, zväčša v portrétnej orientácii. V 90% situácií používame aj externý blesk a rádiovú spúšť. Karbónová tyč je dlhá 5,5 m a výrazne urýchľuje proces "*ručného snímkovania*". Dôležitým prvkom pri tejto metóde je kontinuita snímkovania a uzatváranie sérií fotografií do celkov. Metódu "*ručného snímkovania*" ďalej delíme na dva hlavné spôsoby snímkovania. Na väčšie priestory, architektonické prvky, prípadne sochy používame techniku snímkovania ktorú sme nazvali - "*uzatvorený kruh*". Na menšie priestory, ako napr. točité schody, úzke chodby, používame techniku snímkovania ktorú sme nazvali "*opitý námorník*".

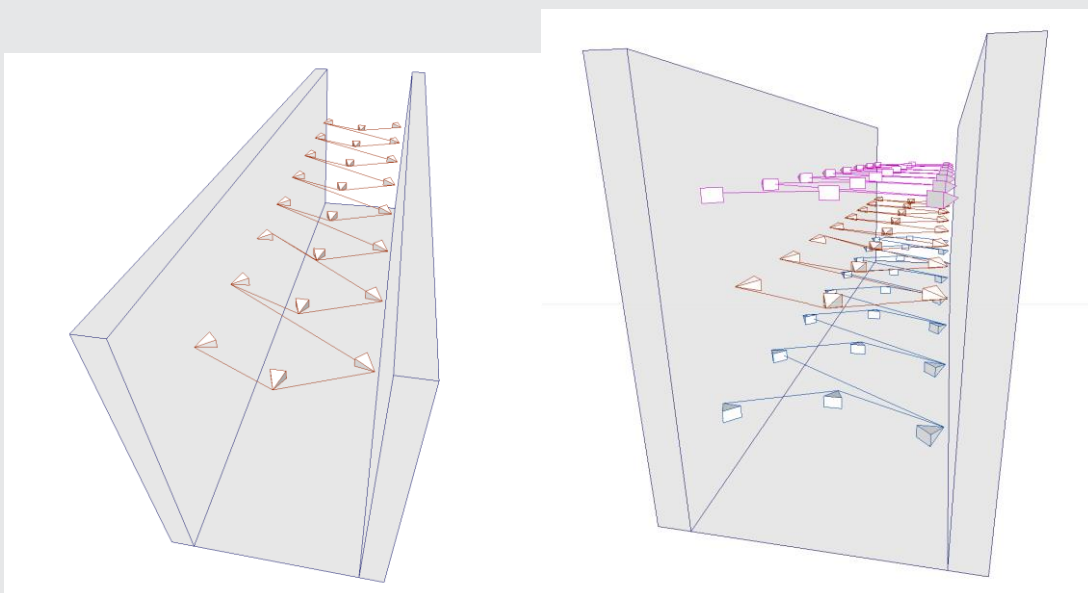
Technika snímkovania - "*uzatvorený kruh*" je založená vo snímaní daného objektu v uzavretých celkoch - okruhoch. Ak to objekt umožňuje fotograf sa okolo neho pohybuje v okruhoch, ktoré postupne zmenšuje. Začína od celkových záberov a končí pri detailoch. Postup snímkovania by sa dal obrazne opísať ako postupné uťahovaniu lasa okolo objektu. Pri rovnakej vzdialenosti od snímkaného objektu by mali vzniknúť tri okruhy z rôznych elevácií fotoaparátu - spodná, stredná a vrchná elevácia. Ak objekt neumožňuje snímkovanie v okruhoch, ten istý postup použijeme pri snímaní v polkruhoch. Pomyselné kruhy a polkruhy pri fotografovaní nemusia byť len v horizontálnej, ale aj vo vertikálnej rovine. Dôležité je kontinuálne fotografovanie bez veľkých skokov s dostatočným prekryvom.



Obr. 16. Technika snímkovania - "*uzatvorený kruh*".

Technika snímkovania "*opitý námorník*" sa používaná na úzke priestory, pozostáva zo série troch záberov opakujúcich sa každý meter. Ak to priestor vyžaduje, tak sa séria troch fotografií opakuje aj častejšie než jeden meter.

Séria troch fotografií pozostáva z prvej, ktorá mieri pod uhlom cca. 45° na protiľahlú stenu. Fotoaparát je čo najviac odsunutý k stene oproti stene fotografovanej. Nasleduje stredový záber, kedy fotoaparát mieri na stred chodby alebo schodov. Tretí záber je identický s prvým, no steny chodby sú vymenené. Táto séria troch fotografií sa opakuje v troch eleváciách, pokiaľ to priestor umožňuje. Tento postup fotografovania sa zopakuje v oboch smeroch chodby alebo schodiska. Tým sa dosiahne čo najväčšie pokrytie priestoru. Pri komplikovaných priestoroch je nutné zopakovať tento postup aj dva krát v oboch smeroch vo všetkých troch eleváciách.



Obr. 17. Technika snímkovania "*opitý námorník*".

Špecifický spôsob snímkovania vyžadujú studne a rôzne iné podobné priestory, kde sa dá fotoaparát spustiť len na lane. Fotoaparát zavesený v portrétovej orientácii na lane postupne spúšťame do studne. Približne každý meter zastaneme, točením lana otáčame fotoaparát o 360° a fotografujeme. Tento proces opakujeme pri spúšťaní, aj pri vyťahovaní fotoaparátu. Fotoaparát spustíme aspoň v troch rôznych pozíciách do studne, čím dosiahneme pomerne veľké pokrytie priestoru studne. Najlepším riešením, pokiaľ je to realizovateľné, je zlanenie fotografa do studne. V tomto prípade nie je nutné opakovať proces spúšťania z troch rôznych pozícií, stačí len z jednej.

3.9. PRIEBEŽNÉ SPRACOVÁVANIE DÁT V TERÉNE

Súčasťou fotogrametrie je aj priebežné spracovanie nasnímaných dát v čo najkratšom čase od samotného snímania. Toto sme realizovali v už spomínanom softvéri od spoločnosti CapturingReality. V náhľadovom móde má tím fotografov možnosť zostaviť hrubý 3D model a získať tak predstavu, ako kvalitne sú nasnímané jednotlivé časti digitalizovaných objektov. Potrebné je to najmä pri metóde snímokovania "opitým námorníkom", kde je nutné vytvoriť si aspoň zjednodušený model objektu, v ktorom je možné skontrolovať dostatočné pokrytie fotografiami. Existujú špecifické úzke priestory, kde sa nedá uplatniť žiadna z uvedených metód. Tie treba čo najhustejšie nafotografovať a vo fotogrametrickom programe si vytvoriť zjednodušený model na overenie dostatočného pokrytia fotografiami. Takáto spätná väzba umožňuje korekcie, spätné prefotenie a celkovú optimalizáciu celého procesu. Digitalizačný tím takto najlepšie pochopí metódy snímania a zdokonalí sa v jednotlivých technikách snímokovania.

3.10. VÝBER A POPIS LOKÁCIE

VÝBER VHODNEJ LOKÁCIE

Pre realizáciu nášho spotu sme hľadali lokáciu, ktorá by spĺňala naše špecifické požiadavky. Mal to byť priestor historický, reprezentatívny s bohatou umeleckou výzdobou, najlepšie už existujúce múzeum. Priestor v ktorom by teoreticky bolo možné natáčať, ale bolo by jasné, že tam nie je možné vytvoriť ľadovú plochu. Priestor mal mať zaujímavú nielen výzdobu stien a stropu, ale i podlahu ktorá v kompozícii záberu vykryva veľkú časť. Priestor mal byť dostatočne veľký, aby tam pôsobili reálne krasokorčuľarske výkony, no nie príliš veľký aby svojim rozmerom vytváral pocit, že fragmenty výkonov ktoré divák vidí sú realizovateľné iba na ľadovej ploche veľkých rozmerov. Taktiež svojou architektonickou členitosťou by mal dávať obmedzenia pre štandardné filmovacie postupy, aby vynikli kompozície kamier.

Zvolili sme si historický priestor, ktorý sa nachádza na hrade Červený kameň - *Sala terrena*. Je vhodný pre realizáciu nášho experimentu, keďže ide o reprezentatívnu sieň, kde nájdeme rôznorodé druhy výzdob a ornamentov. Steny aj stropy miestnosti sú bohato členené a zdobené rôznymi maľbami a freskami.

POPIS HISTORICKÉHO VÝVOJA LOKÁCIE - HRAD ČERVENÝ KAMEŇ, SALA TERRENA

Červený Kameň je pomerne dobre zachovaný hrad na kremencovom brale na juhovýchodnom svahu Malých Karpát neďaleko Modry, nad obcou Častá. Pôvodný kamenný hrad tu stál už od polovice 13. storočia a bol vybudovaný ako súčasť pohraničnej sústavy hradov, tiahnucej sa od Bratislavy až po Žilinu, ktorý mal za úlohu chrániť západné hranice Uhorského kráľovstva. Túto obranno-strážnu funkciu si hrad plnil až do začiatku 16. storočia, keď ho získali augsburskí podnikatelia Fuggerovci, vo svojej dobe jedna z najbohatších obchodníckych rodín v Európe. Tí sa rozhodli využiť strategickú polohu Červeného Kameňa neďaleko Viedne a Bratislavy a v rokoch

1535 – 1537 ho prestavali na novú pevnosť s ústredným štvorcovým dvorom, štyrmi nárožnými baštami a rozsiahlymi skladovacími pivničnými priestormi. Tento nový hrad im mal slúžiť ako hlavné prekladisko tovaru s ktorým obchodovali po celej Európe. Túto funkciu, pre ktorú bol hrad prebudovaný, však nakoniec nikdy neplnil, pretože kvôli tureckému nebezpečenstvu, ktoré sa od polovice 16. storočia stále stupňovalo, sa Fuggerovci rozhodli, že obchodovať na našom území je príliš riskantné a z Uhorska sa stiahli.³⁹

Najvýznamnejšími majiteľmi Červeného Kameňa sa tak stali Pálffyovci, ktorí hrad získali práve od Fuggerovcov a sídlili na ňom až do roku 1945, teda približne 400 rokov. Práve Pálffyovci začali postupne premieňať strohú pevnosť na renesančno-barokové sídlo s nádhernou vnútornou výzdobou, o ktorú sa postarali zahraniční majstri, hlavne z Talianska. Počas jednej z Pálffyovských prestavieb bola na hrade vybudovaná aj *Sala terrena*, ranobarokový skvost svetskej architektúry, v ktorej sme realizovali náš spot.

Názov miestnosti pochádza z taliančiny a preložiť sa dá ako „prízemná sála“ (alebo *sala terana* – záhradná sála). *Sala terrena* bola súčasťou zámkov a rodinných sídiel v období baroka, ako jeden z jej typických architektonických prvkov. Vo všeobecnosti to bola miestnosť na prízemí palácov a zámkov otvorená do záhrady, alebo to mohla byť samostatná otvorená budova v záhrade. Sála slúžila na reprezentatívne účely, relaxáciu panstva, organizovali sa tu koncerty, oslavy a pod. Vrchnosť sa v tejto miestnosti zdržiavala hlavne v lete, keď tu počas horúcich dní a večerov trávila svoje voľné chvíle. Tiež sa tu hrávali divadelné predstavenia.⁴⁰

Na Červenom Kameni sa miestnosť nachádza na prízemí juhozápadného krídla hradu a vznikla spoločne s výstavbou kaplnky a iných ranobarokových úprav v hradnom paláci v rokoch 1651 – 1664, ktoré inicioval vtedajší majiteľ Červeného Kameňa, gróf Mikuláš IV. Pálfi, podľa talianskeho vzoru. Autorom projektu je cisársky staviteľ Filibert Luchese.⁴¹

Pozdĺžny priestor s rozmermi 7,19 m×14,17 m je osvetľovaný z bočnej strany štyrmi oknami do nádvorja. Výška miestnosti v najvyššom bode je 4,52 m. Na kratšej strane sály sa nachádzajú dve niky, kde sú vytvorené *grotty* z tufových hornín na spôsob umelej jaskyne s fontánou. Uprostred čelnej steny s dverami po stranách je nika so sochou Venuše. Na ľavých dverách je iluzívna maľba s postavou muža nazerajúceho dovnútra. Do miestnosti sa vstupuje pravými dverami. V hornej časti pod klenbou je kartuša s freskou „*Samovražda Lukrécie*“ a po stranách sa nachádzajú plastické *putti*⁴², ktoré držia rodové erby Mikuláša Pálffyho a jeho manželky Eleonóry Harrachovej. Lunetovú klenbu pokrýva bohato polychrómovaná bujná plastická štuková výzdoba so zakomponovanými freskami. Charakteristická je tvarová bohatosť rollwerkových kartuší a bizarných ornamentálnych motívov,

³⁹ BÓNA-PLAČEK 2007, s. 96

⁴⁰ ŠOLTÉSOVÁ 2005, s. 96.

⁴¹ ŠOLTÉSOVÁ 2005, s. 97.

⁴² obrazy detí – putto (mn. č. putti) – tal. dieťa, tiež amoret, je to typický taliansky barokový prvok.

nadobúdajúcich antropomorfné tvary (fantastické maskaróny a tváre faunov) s plastickými figúrami dvojíc putti zakomponovaných medzi lunetami.⁴³

Tancujúce nymfy a hrajúce sa deti namaľované v hlavných zrkadlách klenby *Saly terreny* sú doplnené kartušami s cyklom riečnych krajínok v lunetách a menšími monochrómami medailónmi. Mimoriadne kvalitné fresky z roku 1655, ktoré sa na rozdiel od klenbových malieb v sálach a hradnej kaplnke na poschodí zachovali v pozoruhodne intaktnom stave, vytvoril Carpofo Tencalla z Bissone pri Luganskom jazere. Práce na Červenom kameni sú na sever od Álp prvým dielom maliara, ktorý sa neskôr stal popredným predstaviteľom talianskej ranobarokovej freskovej maľby v strednej Európe. Celý rad lustrov, zrkadiel, vzácnych umeleckohistorických predmetov, nábytok a obrazová galéria sú ukážkami doplnkov historického bývania.⁴⁴ Taliansky majster použil pri výzdobe *saly terreny* širokú škálu haptických a optických výtvarných prostriedkov.⁴⁵

Sala terrena na hrade Červený kameň je na území Slovenska jediným v pôvodnom stave zachovaným príkladom takéhoto špecifického priestoru zakomponovaného na taliansky spôsob do parteru s výhľadom do parku či záhrady.⁴⁶ V súčasnosti sa táto miestnosť využíva pri civilných sobášoch. Je považovaná za jeden z najväčších architektonických skvostov nielen tohto hradu, ale aj celého územia Slovenska. Digitalizácia priestoru a príprava natáčania spotu.

3.11. NÁVRH TECHNOLOGICKÉHO POSTUPU A POUŽITÝCH METÓD

Prvou fázou v samotnej produkčnej časti projektu bola digitalizácia vybraného reálneho prostredia, do ktorého mala byť zasadená živá akcia. Keďže sme s daným prostredím (*Sala terena* na hrade Červený kameň) boli už vopred veľmi dobre oboznámení, nebolo potrebné absolvovať úvodné obhliadky a mohli sme pristúpiť priamo k digitalizácii objektu.

Na digitalizáciu miestnosti sme použili kombináciu oboch už spomínaných metód – laser sken a fotogrametrickú metódu. Hlavným dôvodom použitia kombinovanej techniky bola snaha o využitie výhod jednotlivých metód pri súčasnej eliminácii ich hlavných nedostatkov. Nemenej dôležitým faktorom v rozhodovaní bola aj snaha o vytvorenie unikátneho postupu a overenie jeho praktickej použiteľnosti. Takýto postup je jedinečný, keďže v súčasnosti neexistujú žiadne komerčné riešenia, ktoré by umožňovali previazanie oboch digitalizačných metód. Jedinečnosť technológie je ešte viac zvýraznená mierou detailu, či už geometrického alebo texturálneho, ktorú sa podarilo pri digitalizácii *Saly Terreny* dosiahnuť.

⁴³ MEDVECKÝ 2002, s. 54.

⁴⁴ Tamže, s. 54.

⁴⁵ ŠOLTÉSOVÁ 2005, s. 96.

⁴⁶ MEDVECKÝ 2002, s. 55.

3.12. SNÍMANIE PRIESTORU METÓDOU LASER SKEN

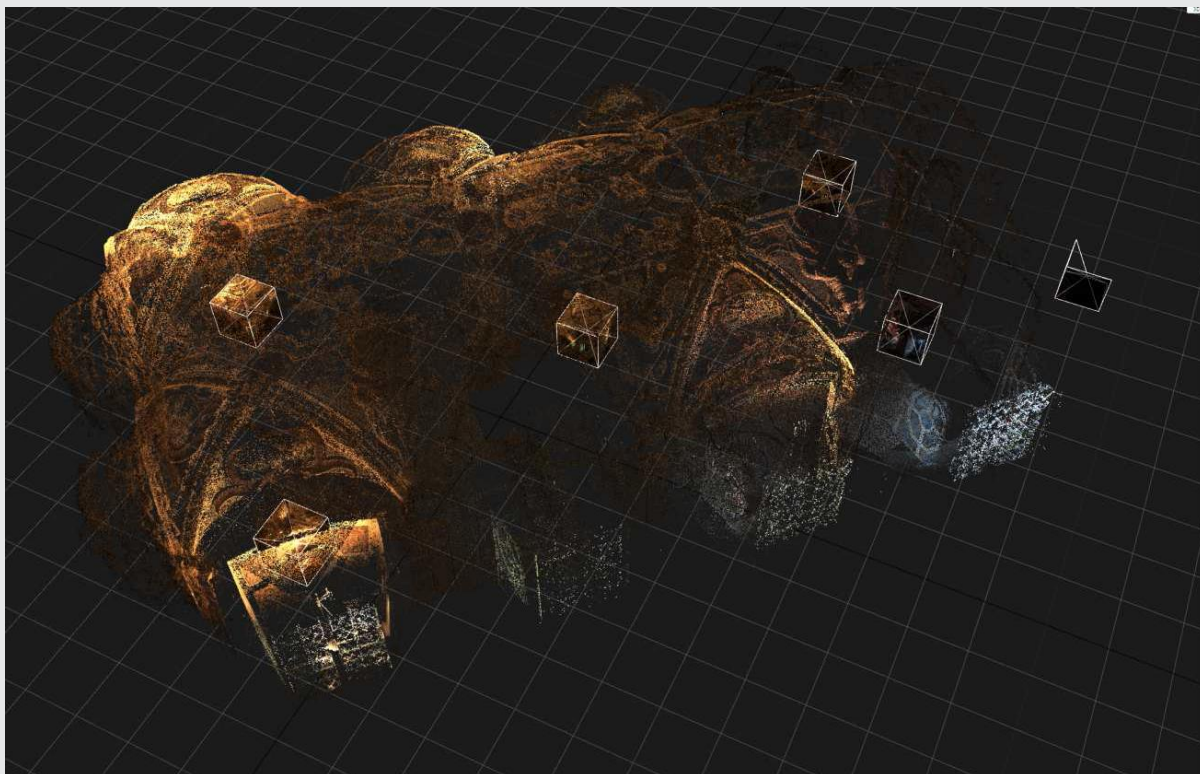
Prvotné snímanie priestoru sme realizovali metódou laser sken s technológiou Laser scanner Leica ScanStation P20. Táto technológia je schopná zaznamenať 1 milión priestorových bodov za sekundu s presnosťou do 3 mm. Maximálna merateľná vzdialenosť je 150 metrov.



Obr. 18. Leica ScanStation P20.

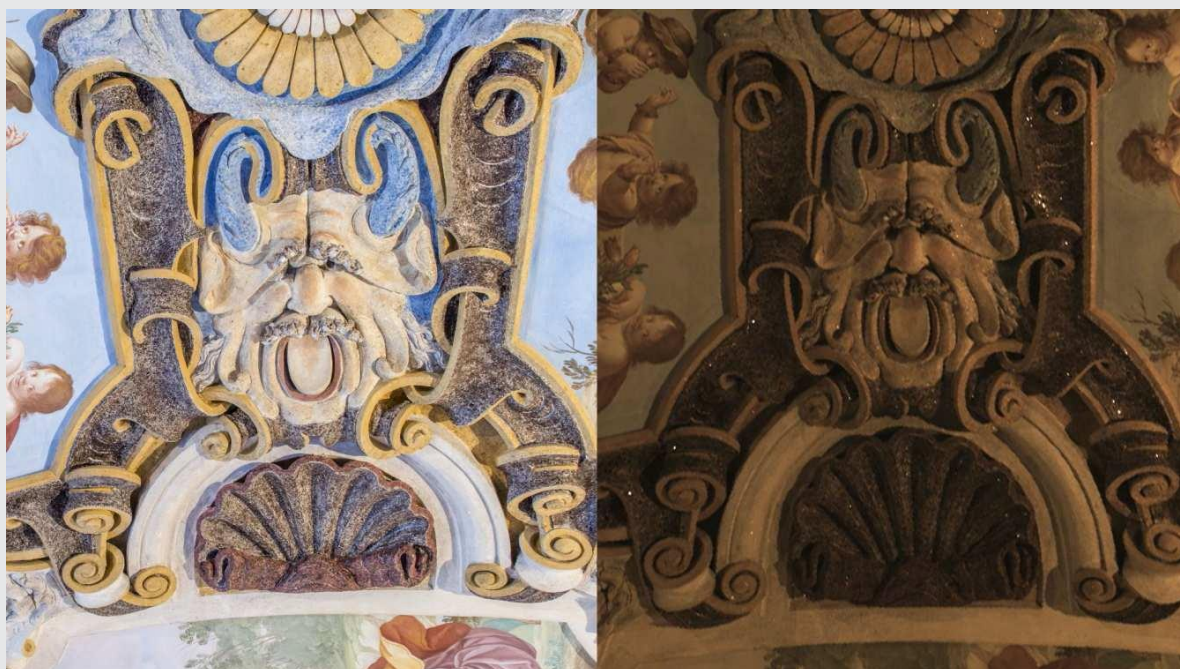
<http://www.geoconnexion.com/news/leica-scanstation-p20-introduced/>

Výstupom tohto snímania bol geometricky a rozmerovo presný model miestnosti. Z princípu snímania laser skenom, vzhľadom na členitosť miestnosti, vyplynula nutnosť digitalizácie z viacerých pozícií, pričom výstupom každého jedného skenu bolo približne 150 miliónov bodov. Celkovo sme s ohľadom na geometriu miestnosti použili päť pozícií laser skenu, pomocou ktorých sa nám podarilo prakticky úplne eliminovať „mŕtve uhly“ a „tienie“, t.j. miesta, kam pri digitalizácii nemá z danej pozície zariadenie priamu viditeľnosť (a nemôže teda reflexívnou metódou určiť ani vzdialenosť, ani intenzitu odrazu).



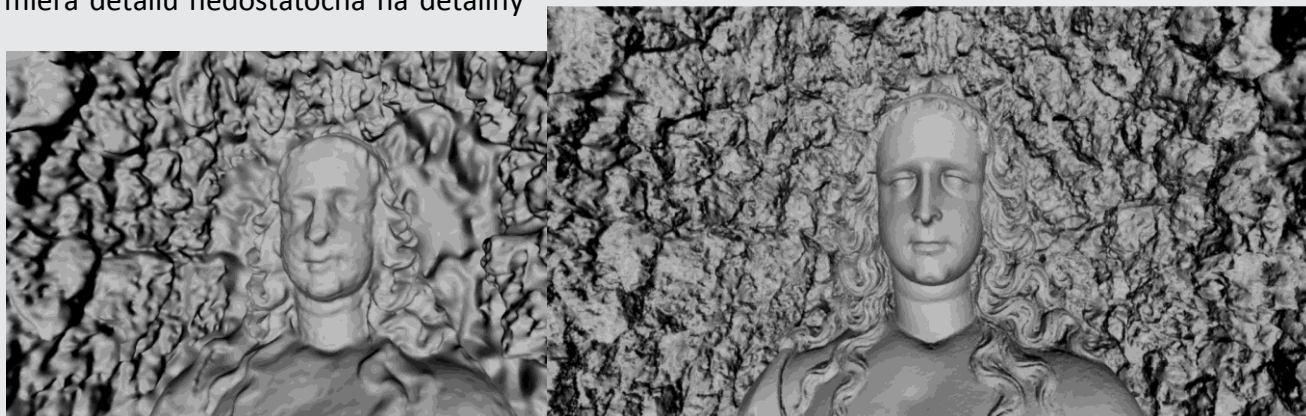
Obr. 19. Pozície snímania laser skenerom.

Digitalizácia pomocou laser skenu nám umožnila získať digitálne reprezentácie častí miestnosti (vrátane prekryvov jednotlivých snímání) s vysokou metrickou presnosťou. Nevýhodou takejto metódy je však absencia zachytenia farebnej informácie. Samotný laser sken zachytáva iba vzdialenosti jednotlivých bodov a ich svetelnú intenzitu (intenzitu odrazivosti laserového lúča). Existujúce štandardné riešenia eliminujú tento nedostatok použitím prídavného fotoaparátu, či už umiestneného nad samotným skenovacím zariadením (riešenie firmy Riegl) alebo priamo v skeneri (riešenie firmy Leica). Kvalita takto získaných fotografií je však nedostatočná na získanie potrebných dodatočných informácií či už o farebnej zložke, alebo o dodatočnej geometrii.



Obr. 20. Porovnanie farebného výstupu fotoaparátu (vľavo) a laser skenu (vpravo).

Druhotná nevýhoda metódy laser skenu spočíva v tom, že napriek vysokej metrickej presnosti je miera detailu nedostatočná na detailný



popis jednotlivých objektov nachádzajúcich sa v miestnosti, či už ide v našom prípade o reliéfy, sochy, či details okien, dverí a pod. To by výrazne obmedzovalo prácu s takýmto modelom a znemožňovalo voľný pohyb kamery v rôznych šírkach záberov bez vizuálnej degradácie.



Obr. 21. Porovnanie miery geometrického detailu (zhora nadol): laser sken, fotogrametrický model, detailný fotogrametrický model.

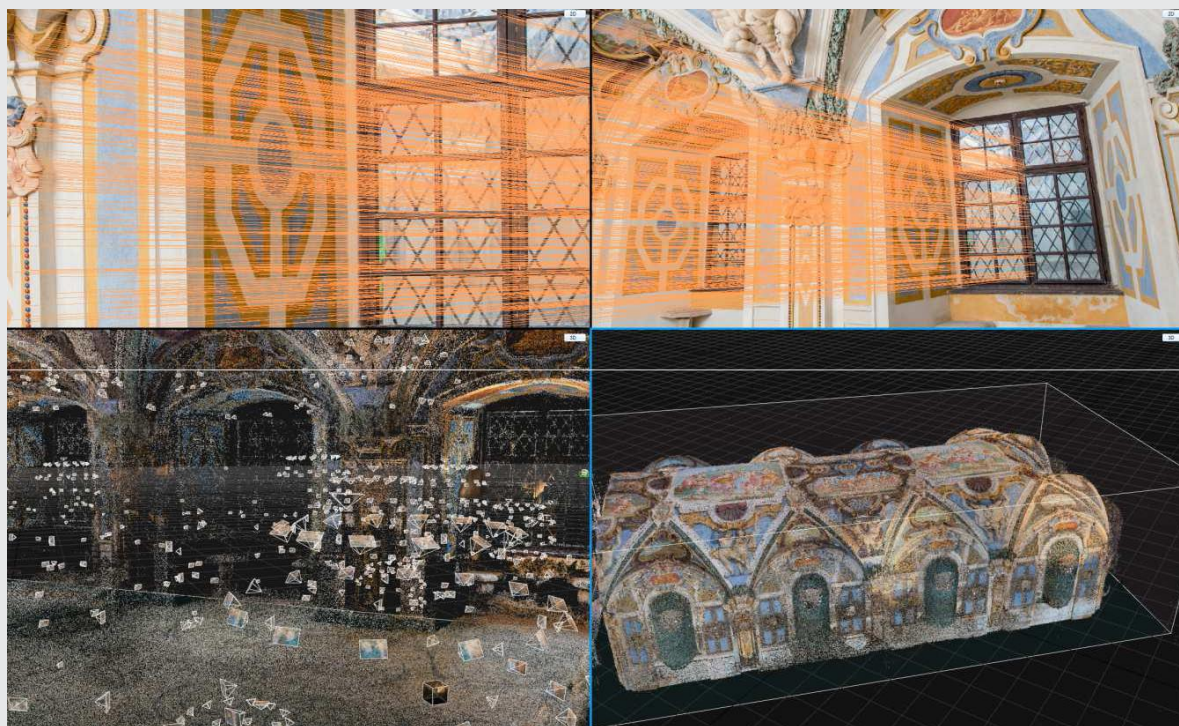
3.13. SNÍMANIE PRIESTORU FOTOGAMETRICKOU METÓDOU

PREDPOKLADY FOTOGAMETRICKEJ METÓDY

Obe tieto hlavné nevýhody snímania laser skenom sme sa rozhodli eliminovať kombináciou s fotogrametrickou metódou snímania. Ako už bolo opísané v predchádzajúcich kapitolách, fotogrametrická metóda pomocou reverznej triangulácie dokáže zrekonštruovať geometriu snímaného objektu pri zachovaní jeho svetelných a farebných vlastností. Zároveň dokáže do vysokej miery zachovať mieru detailu, v závislosti od metódy snímania (dostatočné rozlíšenie fotografií, dostatočne obsiahnuté geometrické informácie dané miestami snímania a pod.). Takto vyprodukovaný model je vizuálne verný a dostatočne detailný. Nevýhodou tejto metódy je však nízka miera metrickej presnosti (v našom prípade až v ráde desiatok centimetrov pri celkových záberoch) spôsobená nepresnosťou snímacej techniky (napr. použitých objektívov a ich optických vlastností), ako aj danou mierou nepresnosti vychádzajúcou z reverzných matematických postupov. V našom prípade však je táto nepresnosť eliminovaná použitím kombinovanej metódy spolu so snímaním laser skenom.

Metóda fotogrametrie je pre tento prípad veľmi vďačná. Keďže ide o priestor, ktorý je veľmi členitý nielen geometricky ale aj textúrami, nemuseli sme sa potýkať s obmedzeniami tejto metódy v prípade

homogénnych priestorov, keď spätné previazania bodov a ich vyhľadávanie v textúrach a geometriách je veľmi obmedzené (až nemožné) a vyprodukované výsledky sú prinajmenšom sporné, navyše vyžadujúce neúnosnú mieru interakcie v analytickej fáze. Priestor *Saly Terreny* však svojim charakterom umožnil veľmi presnú a z veľkej časti automatizovanú rekonštrukciu do digitálnej podoby.



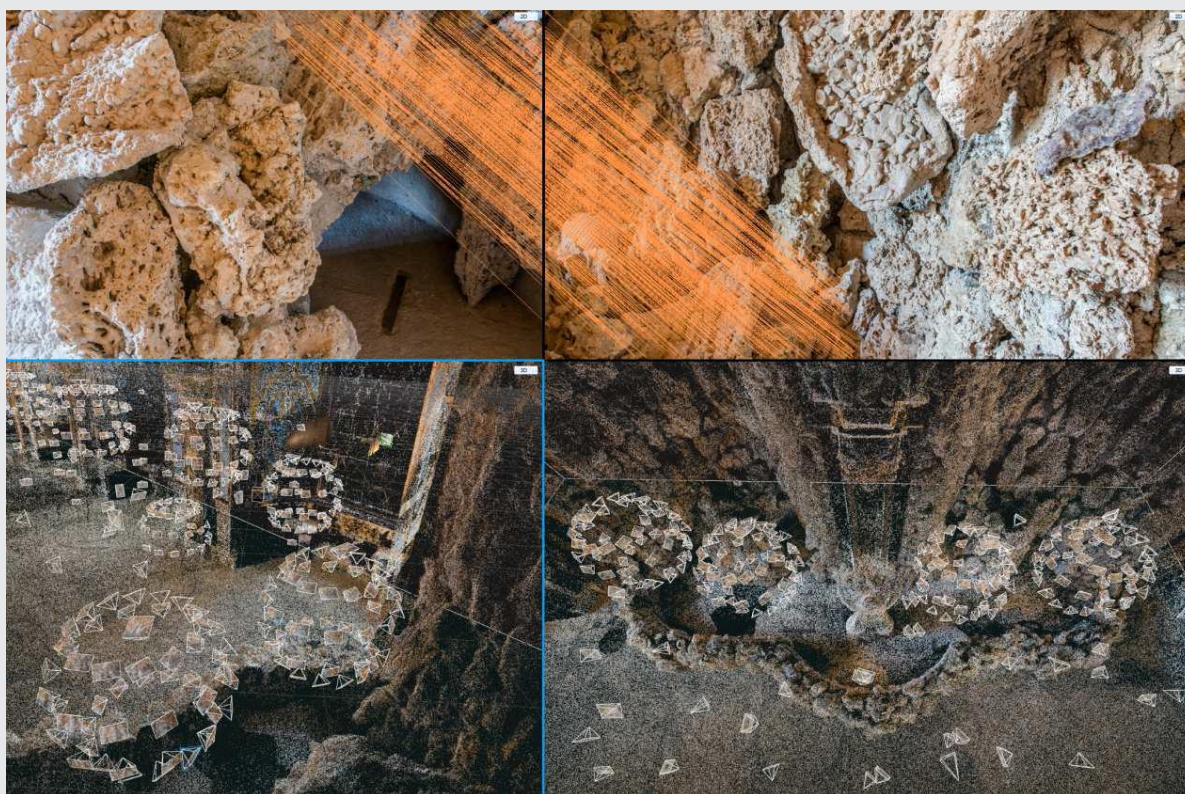
Obr. 22. Triangulácia a previazanie identických bodov pri fotogrametrickej analýze

Pri snímaní priestoru (digitalizovaní metódou fotogrametrie) je jedným z kľúčových faktorov výber správnej metódy snímkovania, z ktorej vyplývajú pozície fotoaparátu a samotný postup snímania. Tento možno rozdeliť na dve hlavné vetvy – snímkovanie celkov (pre získanie celkových textúr a základného geometrického previazania) a snímkovanie čiastkových priestorových výrezov (pre získanie detailných textúr a zvýšenie granularity doplnkovej informácie o geometrických vlastnostiach priestoru a objektov).

3.14. SNÍMKOVANIE ČIASTKOVÝCH PRIESTOROVÝCH VÝREZOV

Z dôvodov uvedených v nasledujúcej podkapitole sme museli v prvej fáze pristúpiť najprv k fotografovaniu čiastkových priestorových výrezov. To sme realizovali metódou "*robotického snímkovania zo statívu*" pomocou automatizovaného zariadenia Rodeon VR- Station HD, ktoré umožňuje automatizovaný proces panoramatického fotografovania z daného miesta. Na rozdiel od panoramatickej fotografie, kde je žiaduca poloha ohniska objektívu fotoaparátu v nodálnom bode na zamedzenie optickej deformácie 2D fotografie, je však v našom prípade vyosenie fotoaparátu naopak žiaduce. Pri "*robotickom snímkovaní zo statívu*" je fotoaparát na panoramatickej hlave mimo nodálneho bodu. Takto totiž dokážeme zachytiť potrebné geometrické údaje pre spätnú trianguláciu, pričom extrahovanie textúr z takýchto fotografií nie je nijako obmedzené. V našom prípade boli čiastkové priestorové výrezy relatívne malé a v takýchto čiastkových výrezoch je teda aj fotogrametrická metóda dostatočne presná. Takéto čiastkové snímanie metódou "*robotického*

snímkovania zo statívu" sme realizovali z 22 rôznych pozícií, pričom umiestnenie jednotlivých snímaní bolo dané štruktúrovanosťou daných častí miestnosti (výklenky, sochy, reliéfy). Snímkovanie touto metódou za pomoci automatizovaného systému nám umožnilo snímať priestor tak, aby vyhovoval požiadavkám neskoršieho spracovania – t.j. fotenie s vyššími clonovými číslami na zabezpečenie ostroty pri zachovaní nízkych ISO⁴⁷ hodnôt (a z toho plynúcich vyšších expozičných časov). Rovnako na elimináciu nerovnomernosti osvetlenia (danej či už fázou denného prirodzeného svetla, alebo lokálnym umelým osvetlením) bolo možné použiť umelé zábleskové osvetlenie v zautomatizovanom procese. Tento postup je dôležitý nielen pre získanie optimálnych podkladov pre fotogrametrickú analýzu, ale aj pre získanie svetelne neutrálnych textúr, ktoré vo fáze použitia hotového modelu umožňujú voľne meniť svetelné podmienky virtuálneho priestoru.

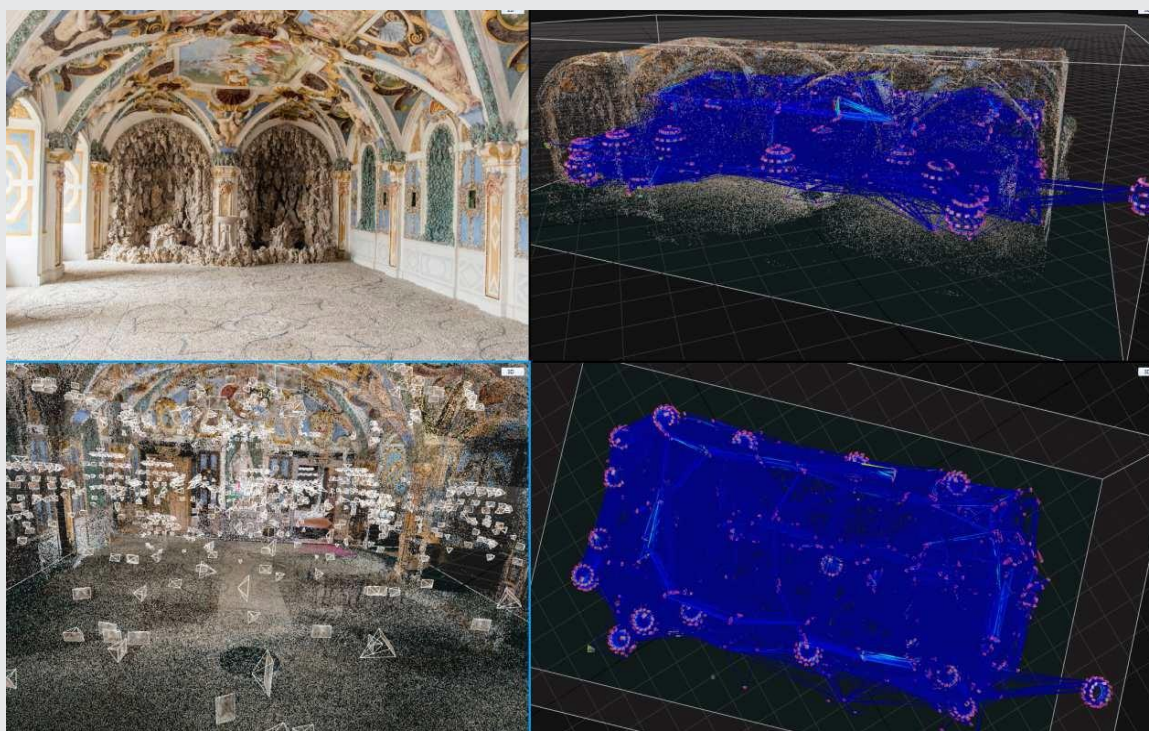


Obr. 23. Príklady polôh pri automatizovanom snímaní fotografií.

3.15. SNÍMANIE CELKOV

⁴⁷ ISO – je to citlivosť digitálneho snímača na svetlo.

Počas realizácie prvej časti snímania pre fotogrametrickú analýzu (snímanie čiastkových priestorových výrezov) nebolo možné pripraviť miestnosť tak, aby sme mohli nasnímať úplne prázdnu miestnosť bez inventáru a s čistou podlahou bez kobercov. Prvá časť tak bola zosnímaná aj s inventárom (stoličkami, kobercami). To však pochopiteľne nevyhovovalo nášmu zámeru. Následne sa však v druhej fáze snímania podarilo presvedčiť správcu miestnosti, a tak bolo možné nasnímať miestnosť opätovne úplne prázdnu. Aby sme sa vyhli opakovanému snímaniu celej miestnosti, v druhej fáze fotogrametrického snímania sme sa teda sústredili primárne na podlahu a celkové zábery s tým, že vo fáze analýzy sa nevhodné snímky z prvej fázy eliminujú a podlaha sa bude analyzovať výhradne zo snímok z druhej fázy.



Obr. 24. Previazanosť celkových fotografií vo fotogrametrickom modeli a ukážka východiskovej fotografie celku.

Táto druhá časť fotogrametrického snímania bola realizovaná metódou *"ručného snímkovania"*. Tento postup vyplynul z potreby snímania z veľkých výšok (s ohľadom na celkové pokrytie plochy podlahy boli použité široké objektívy s ohniskovou vzdialenosťou 24 mm, pričom časť záberov bola realizovaná z karbónových monopodov) a zároveň z potreby časovej optimalizácie celého procesu (nebolo potrebné opätovne realizovať metódu *"robotické snímkovanie zo statívu"*). Zároveň sme v tejto fáze *"ručného snímkovania"* nepoužívali systémové blesky, ale blesky štúdiové, ktoré nám intenzitou aj pokrytím umožnili zosnímať svetelne neutrálnu verziu celkových záberov (nielen podlahu), dôležitú pre neskoršiu fázu textúrovania (resp. odstraňovania tieňov z textúr).

Snímky vytvorené fotoaparátom so širokým objektívom zachytávali veľké celky priestoru pre fotogrametrickú analýzu a zároveň umožnili vytvoriť základné fotogrametrické previazanie celej

scény⁴⁸, do ktorého bolo možné neskôr korektne vložiť jednotlivé zdigitalizované čiastkové priestorové výrezy (resp. korektne ich integrovať do celkového modelu). Toto základné previazanie vzniklo celkovou analýzou snímok, pričom dôležitým faktorom pre presnosť a funkčnosť tohto previazania bolo čo najúplnejšie pokrytie priestoru jednotlivými snímkami a ich dostatočné prekryvanie. Pri dodržaní týchto kritérií sme získali presnú pozíciu kamier⁴⁹ v scéne s vysokou komplexnosťou, stabilitou, pevnosťou a vzájomnou previazanosťou. Z týchto kamier sme následne vytvorili základný fotogrametrický model.

3.16. PREVIAZANIE A SYNTÉZA LASER SKENU A FOTOGRAMETRICKÝCH MODELOV

Takto získaný základný fotogrametrický model sme v ďalšom kroku previazali s modelom získaným metódou laser skenu. Jedinečnosť tejto metódy zarovnania (alignácie) spočíva práve v kombinácii metrickej presnosti a bohatého a presného farebno-svetelného obsahu. Zároveň táto metóda umožňuje dosiahnutie jedinečnej presnosti pri kombinovaní jednotlivých snímaní laser skenom. V klasických postupoch sa toto kombinovanie a zarovnanie vykonáva pomocou kalibračných terčikov. Tento postup má však niekoľko nevýhod – nutnosť umiestniť kalibračné terčíky pri samotnom snímacom procese a z toho plynúce narušenie prirodzeného prostredia, potreba vyššieho počtu terčikov pri snahe o zachovanie metrickej presnosti pri previazaní snímaní väčších priestorov a pod. Tým, že sme namiesto kalibračných terčikov použili údaje z fotogrametrickej analýzy, sa nám podarilo dosiahnuť nielen oveľa vyššiu presnosť (počet zarovnávaných bodov z fotogrametrickej analýzy je o niekoľko rádov vyšší ako počet terčikov aj pri sebe lepšom snímaní), ale zároveň zachovať snímaný priestor neporušený, bez nutnosti dodatočnej eliminácie terčikov.

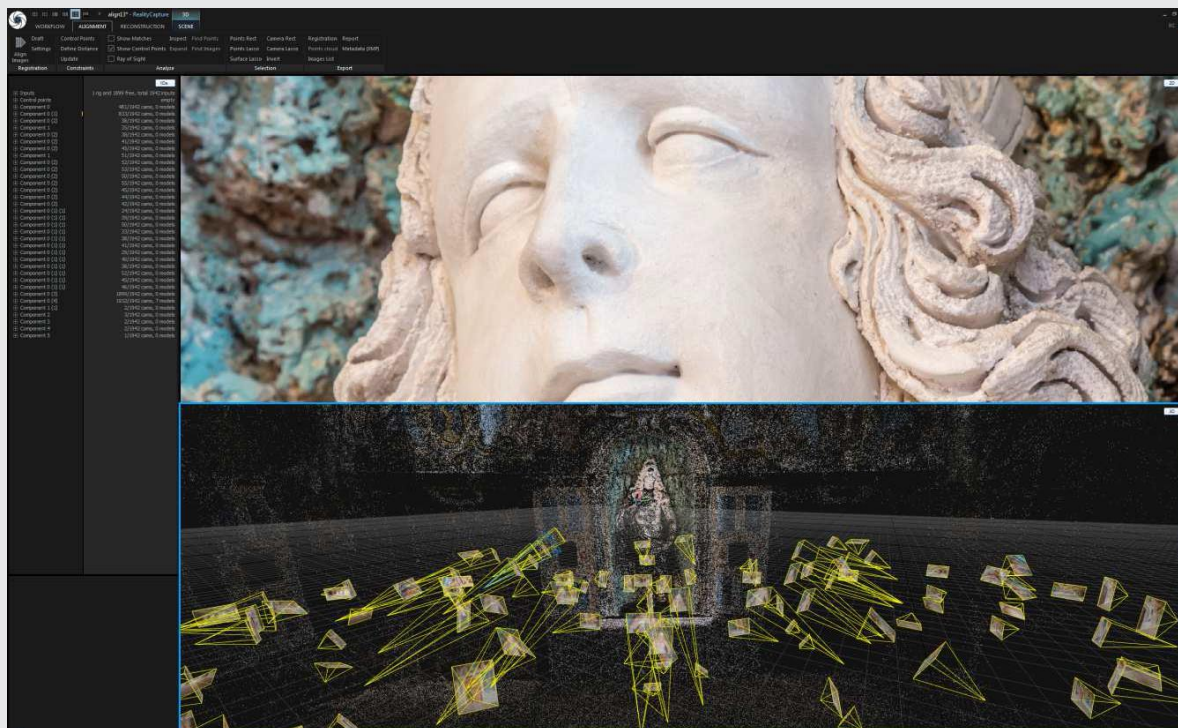
Pod pojmom „pozícia kamery v priestore“ popisujeme pôvodnú pozíciu a orientáciu fotoaparátu v nodálnom bode voči ostatným kamerám v priestore. Toto tvrdenie platí za predpokladu, že kamera je centrálna, čiže obraz vzniká tak, že všetky lúče prechádzajú jedným bodom napríklad ohniskom. Tento predpoklad spĺňa väčšina fotoaparátov.

Výstupom tejto fázy bol zlúčený model, ktorý už poskytoval presnú reprezentáciu fyzickej predlohy so všetkými jej charakteristikami. Do tohto modelu sme následne integrovali zanalyzované čiastkové priestorové výrezy nasnímané metódou *"robotické snímkovanie zo statívu"*. Tým nám výrazne stúpila miera samotného detailu modelu i jeho textúr. V takto detailnom modeli sa však stále nachádzali miesta, kde sme chceli dosiahnuť zvýšenú mieru detailu. To by nám následne umožňovalo oveľa väčšiu voľnosť pri pohybe a kompozíciách vo virtuálnom priestore (napr. možnosť detailných záberov, až makro záberov, pri zachovaní fotorealistickej kvality modelu). Tieto kľúčové časti a

⁴⁸ Scéna – je virtuálny obraz priestoru v 3D prostredí.

⁴⁹ Pod pojmom „pozícia kamery v priestore“ popisujeme pôvodnú pozíciu a orientáciu fotoaparátu v nodálnom bode voči ostatným kamerám v priestore. Toto tvrdenie platí za predpokladu, že kamera je centrálna, čiže obraz vzniká tak, že všetky lúče prechádzajú jedným bodom napríklad ohniskom. Tento predpoklad spĺňa väčšina fotoaparátov.

fragmenty priestoru boli definované zväčša svojou prirodzenou geometrickou komplexnosťou (socha Venuše, jaskynné reliéfy), no v niektorých prípadoch aj obsahovou komplexnosťou (nástenne maľby a pod.). Zvýšenie miery detailu sme realizovali metódou snímania "uzatvorený kruh", pri ktorom sme sa sústredili na detailné zábery relevantných častí priestoru.



Obr. 25. Príklad umiestnenia fotoaparátov pri snímaní detailov.

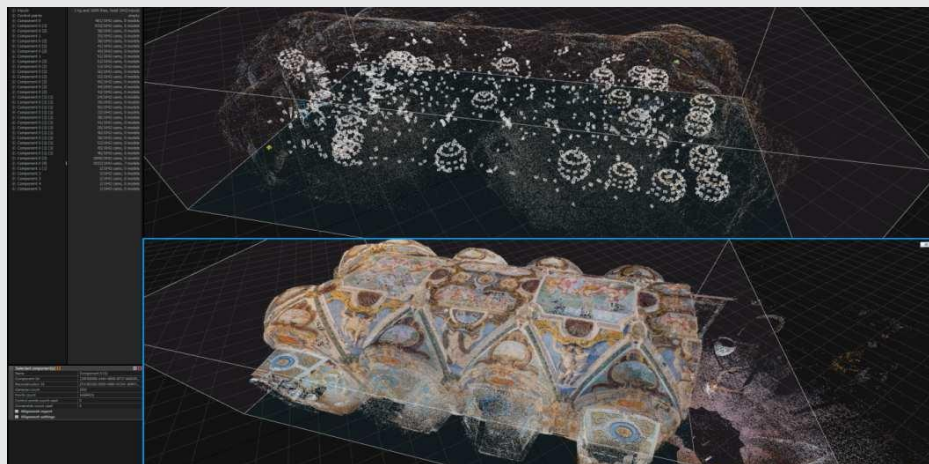
Série takýchto detailných fotografií boli následne analýzou začlenené do celkového modelu. Týmto sa podarilo opäť výrazne zvýšiť geometrickú aj texturálnu presnosť a detailnosť. Jednou z jedinečných vlastností použitej metódy je aj to, že takéto zvýšenie miery detailu je (v závislosti od vstupu) veľmi výrazné. Výsledný model časti priestoru obsiahnutého v detailných fotografiách dosahuje až polovičné rozlíšenie reálnej fotografie, pričom textúrová informácia môže byť zachovaná prakticky až v pomere 1:1 (t.j. je možné dosiahnuť fotorealizmus až na úrovni rozlíšenia snímacej techniky).



Obr. 26. Miera detailu v celkovej fotografii (vľavo) a v dofotonom detaile (vpravo).

Celkovo bolo na vytvorenie modelu *Saly terrena* analyzovaných 5 laser skenom fotografií

meraní
a 2000



(automatizované snímanie, celkové fotografie, detailné fotografie). Výstupom z tejto fázy bol komplexný a vysoko detailný model vo forme tzv. point cloudu, teda množiny bodov v priestore, pričom každý bod má presne definovanú svoju pozíciu v priestore a svoje svetelné a farebné vlastnosti.

Obr. 27. Celková scéna fotografických pozícií (hore) a výsledný point cloud (dole).

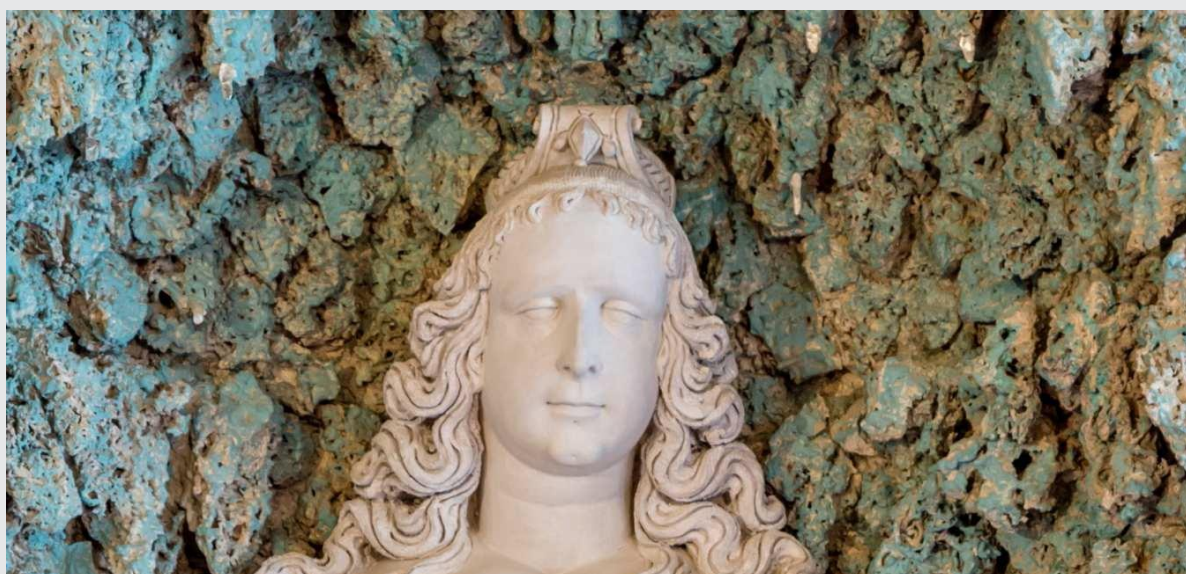
3.17. GENEROVANIE GEOMETRICKÉHO MODELU A TEXTÚR

Tento point cloud model následne prechádza tzv. meshingom, t.j. fázou generovania geometrickej mriežky, v ktorej sa jednotlivé body point cloudu trianguláciou spájajú do trojuholníkov. Tie vytvárajú samotnú mriežku - mesh⁵⁰, ktorá definuje povrch objektu. Takáto geometria už má všetky vlastnosti zjednodušeného reálneho povrchu, či už po stránke geometrickej (reálna reprezentácie fyzickej predlohy v danej mierke a miere detailu), alebo svetelnej (priestorové usporiadanie definuje tieň a nasvetlenie modelu pri rôznych svetelných konfiguráciách). Samotný mesh však vyjadruje len priestorový model. Na to, aby bol tento model vernou vizuálnou reprezentáciou predlohy, je nutné tejto mriežke priradiť aj svetelnú a farebnú informáciu. To možno dosiahnuť dvoma spôsobmi. Prvým spôsobom je farbenie (tzv. coloring), kedy sa každému trojuholníku priradí jedna farebná informácia. Pri dostatočne vysokej hustote trojuholníkov je táto metóda dostačujúca. Ak je potrebné dosiahnuť vyššiu mieru detailu, je potrebné použiť druhú metódu a meshu priradiť povrchovú farebnú mapu – textúru (tzv. metóda texturingu). V našom prípade je presnosť pri textúrovaní až približne 50 pixelov/riadkov na jeden trojuholník mriežky. Pri generovaní textúr sme frekvenčnou analýzou a inými metódami eliminovali nerovnomernosti osvetlenia objektu (tieň), tak aby sme dosiahli v maximálnej miere neutrálne ambientné osvetlenie samotnej textúry (využitie viacerých fotografií pre jednotlivé časti textúr, preferencia fotografií s použitím zábleskového svetla pri finálnom multi-blendingu a pod.). Takto vygenerovaný mesh so zodpovedajúcimi textúrami je finálnym výstupom celej fázy prípravy modelu. Umožňuje nám voľný pohyb virtuálnej kamery v celom priestore, zachovanie jeho geometrických a svetelno-farebných vlastností vo vysokej miere detailu a voľnosť pri vytváraní svetelných podmienok daných umeleckým zámerom, alebo technickou potrebou.

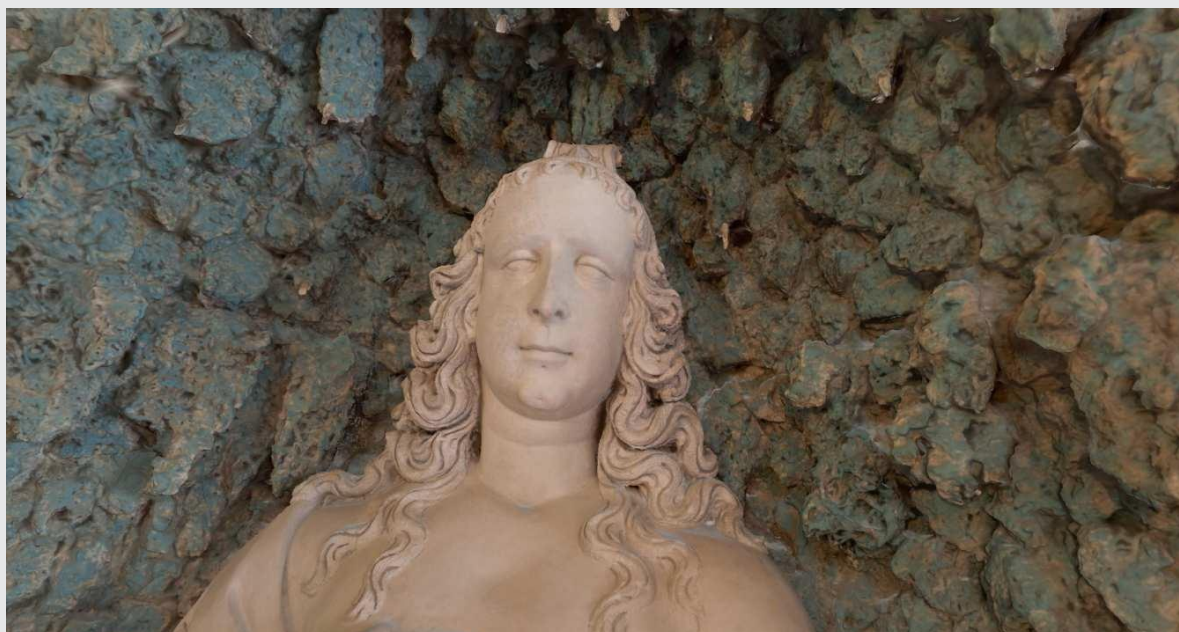


⁵⁰ Mesh (edge)

Obr. 28. Príklad meshingu bez farebnej informácie.



Obr. 29. Príklad modelu s aplikovanou textúrou.

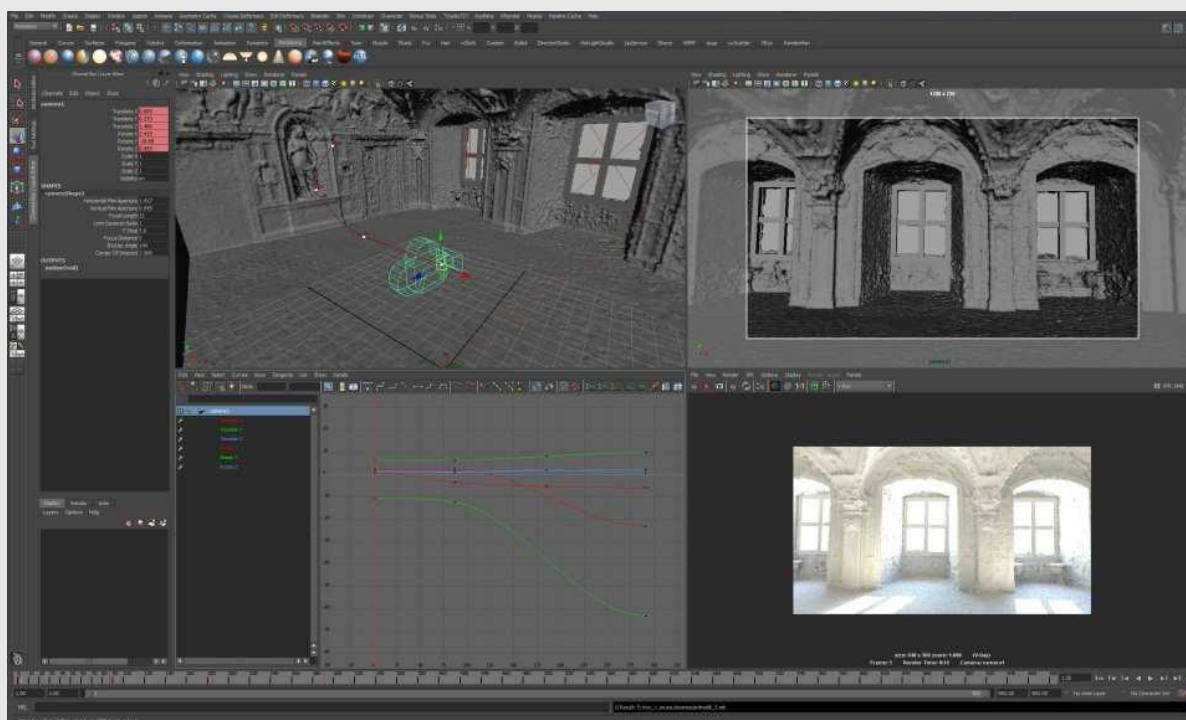


Obr. 30. Svetelne neutrálny textúrovaný model (hore) a príklad jeho virtuálneho svietenia (dole).

3.18. PRÍPRAVA NA NAKRÚCANIE A KONFIGURÁCIA KAMEROVÉHO RIGU MILO MOTION CONTROL

Po zdigitalizovaní priestoru *Sala terrena* s požadovanou presnosťou sme vygenerovali zjednodušený model pre potreby celkovej prípravy na natáčanie a animácie kamerového rigu MILO motion control. Takto zjednodušený model nám umožnil dostatočnú odozvou na kreatívnu tvorbu záberov v 3D prostredí s cieľom zachytiť komplexnosť a krásy priestoru so športovým výkonom krasokorčuliarok.

Prípravu sme realizovali v softvéri 3D Maya a využívali sme štandardné nástroje na animáciu pohybu virtuálnej kamery. V 3D prostredí sa nám podarilo realizovať kompletný kreatívny zámer a vytvorili sme celkové kompozície záberu.



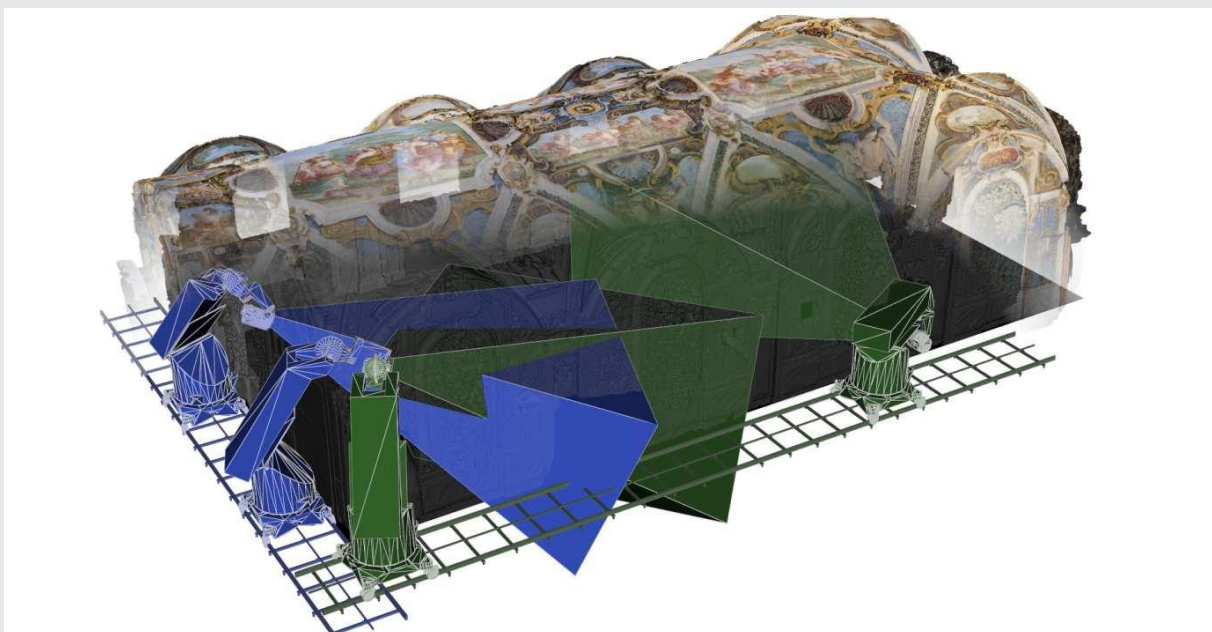
Obr. 31. Ukážka virtuálnej pozície kamery v pracovnom prostredí 3D Maya.

Následne sme konvertovali animačné dáta do špecializovaného softvéru Flair potrebného na ovládanie zariadenia motion control MILO. Tento spôsob prenosu animačných dát z kreatívneho 3D prostredia do výkonného robotického zariadenia motion control MILO je vo väčšine prípadov štandardom prípravy, programovania a samotnej obsluhy zariadenia. Tento spôsob prenosu dát sa pre náš zámer ukázal ako nedostatočný. Dôvodom boli limity zariadenia. V zábere sme počítali s využitím maximálnych možností zariadenia, ako sú dĺžka a výška ramena, zrýchlenie a rýchlosť posunu jednotlivých častí zariadenia. Cieľom bolo realizovať záber v čo najkratšom čase, aby vynikol v podtočenom zábere 200 fps samotný pohyb kamery.

Dynamika záberu sa skladá z troch fáz:

1. Fáza – pomalý rozbeh kamery tesne nad povrchom ľadovej plochy .
2. Fáza výšvenk do nadhľadu a spomalenie v rohu miestnosti.
3. Fáza prešvenk popri stene s postupným spomaľovaním kamery do protipohľadu spoza návštevníkov.

Technicky bol tento záber realizovaný z dvoch na seba kolmo postavených rigov, nadväzujúcich v rohu miestnosti.



Obr. 32. Zobrazenie dvoch samostatných rigov ktorých spája pozícia kamery v rohu miestnosti. Zelený rig označuje fázu č.1. a č.2. Modrý rig, otočený voči zelenému o 90° znázorňuje prešvenk do fázy č.3.

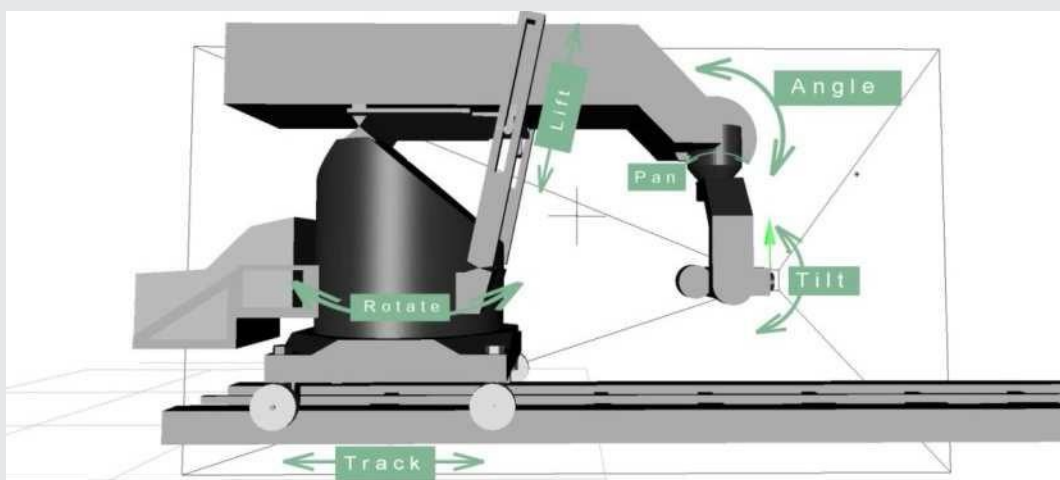
V prvej fáze záberu bolo potrebné dosiahnuť rýchlosť pohybu kamery asi 2 m/s. Technické možnosti boli obmedzené 10 m dĺžkou koľajníc. Zrýchlenie kamery z nuly na požadovanú rýchlosť trvalo necelé štyri sekundy na dráhe 3 m. Nasledoval 3 sekundový rovnomerný pohyb, kde sa kamera presunula v priestore o 6 m za 4 sekundy a spomalila do druhej fázy. Po prestavení rigu a otočení scény o 90° v priestore bolo nevyhnutné nastaviť pozíciu kamery zodpovedajúcej koncovej pozícii kamery predošlého rigu. Počas štyroch sekúnd sa kamera presunie do svojej maximálnej výšky. V tejto pozícii mala kamera vykonať rotáciu v osi kamery proti smeru rotácie krasokorčuliarky. Tento zámer sa nepodarilo realizovať z dôvodu inštalácie kamery na otočnej hlave zariadenia. Prekážkou bola kabeláž, ktorá by v dôsledku rotácie a potrebného vytočenia hlavy mohla poškodiť kameru. Táto skutočnosť sa prejavila až pri samotnom natáčaní, v dôsledku čoho muselo dôjsť k úprave záberu a optimalizácii pre potreby reálneho uchytenia kamery. Následne sa kamera pomalým plynulým pohybom dostáva počas ôsmich sekúnd do tretej fázy.

Štandardný spôsob animovania je v karteziánskom súradnicovom systéme⁵¹ v súradniciach X, Y, Z, kde zväčša osami X a Z je definovaná podlaha a osou Y je definovaná výška. Animovanie motion control MILO je nutné konvertovať požadované pozície kamery na jednotlivé časti zariadenia a optimalizovať na ich limity.

Konfigurácia rigu Motion control MILO pozostáva z nastavení jednotlivých častí:

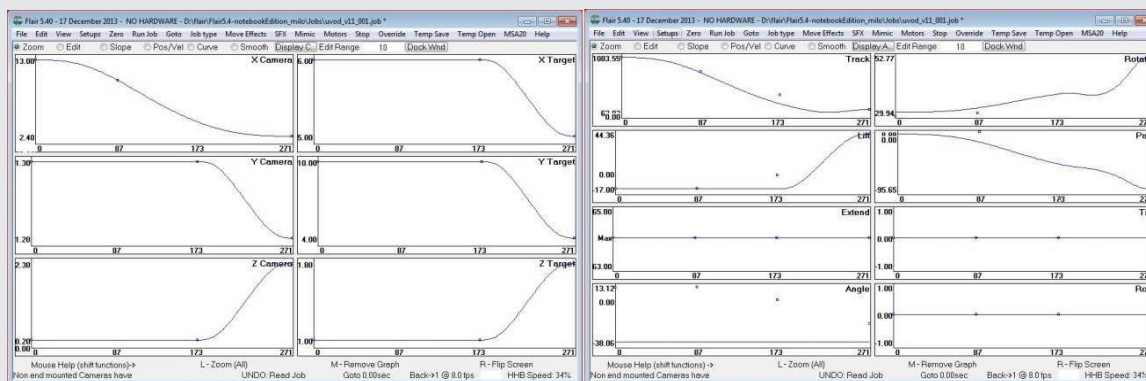
⁵¹ Karteziánsky súradnicový systém – je to sústava súradníc, pri ktorej sú súradnicové osi vzájomne kolmé a pretínajú sa v jednom bode – počiatku sústavy súradníc. Systém je pomenovaný podľa francúzskeho filozofa Reného Descarta.

- Track – vozík pohybujúci sa po koľajniciach – limity celková dĺžka koľajníc 10 m, využitelných 9 m
- Lift – lineárny posuvný mechanizmus zdvíhajúci rameno - rozsah maximálne 48 cm, minimálne 25 cm
- Extend – predĺženie ramena - maximálne 64 cm, minimálne - 26 cm
- Angle – celkové natočenie hlavy - maximálne 159°, minimálne - 39.127°
- Rotate – celkové natočenie - maximálne 170°, minimálne -170°
- Pan – otočenie hlavy v nodálnom bode okolo vertikálnej osi max. 9999°, min. -9999°
- Tilt – náklon hlavy v nodálnom bode okolo horizontálnej osi max. 200°, min. -200°



Obr. 33. Popis jednotlivých častí kamerového rigu MILO motion control.

Pôvodne vytvorenú animáciu sme museli upraviť podľa limitov jednotlivých častí zariadenia v softvéri Flair od spoločnosti Mark Roberts Motion Control. Z viacerých možných riešení sme pomocou nástrojov určených na optimalizáciu chodu jednotlivých motorov zariadenia upravili pohyb kamery tak, aby sme sa čo najviac priblížili k pôvodnej predstave.



Obr. 34. Porovnanie animačných kriviek kamery v karteziánskom súradnicovom systéme a následne transformovaných do pokynov pre jednotlivé časti zariadenia.

Výhodou bolo, že Flair má k dispozícii kvalitný simulátor celého kamerového rigu, na ktorom sme si mohli overiť jednotlivé pohyby zariadenia. Bol to zároveň vhodný tréning ako príprava pred natáčaním.

Ako sa neskôr ukázalo, reálne natáčanie prinieslo nečakané obmedzenia - už spomínaná kabeláž a limity otáčania kamerovej hlavy, ale najmä nutnosť skrátenia dĺžky koľajníc z dôvodu chýbajúcej súčiastky. Bez náročného tréningu a štúdia komplexného manuálu k ovládaniu kamerového rigu MILO mition control by pravdepodobne bolo veľmi náročné reagovať na vzniknutú situáciu priamo na natáčaní a vytvoriť celú konfiguráciu od začiatku.

3.19. REALIZÁCIA NATÁČANIA SPOTU

PRÍPRAVA NATÁČANIA

Počas prípravnej fázy natáčania bolo potrebné nájsť vhodnú lokáciu na realizáciu naplánovanej hereckej akcie a následne zvoliť techniku, za pomoci ktorej by bolo možné dosiahnuť požadovaný výstup. Na prevedenie hereckej akcie sme potrebovali obsadiť krasokorčuliarky schopné opakovať vybrané figúry podľa určenej choreografie a vybrať potrebný komparz. Súčasne s výberom účinkujúcich sme vyberali aj spolupracovníkov do filmového štábu.

LOKÁCIE

Výber vhodnej lokácie na natáčanie krasokorčuliarskych jázd ovplyvnili viaceré kritériá. Hľadali sme zimný štadión, ľadovú plochu vysokej kvality, v Bratislave, prípadne v jej blízkom okolí. Primárnym kritériom výberu priestoru bola kvalita ľadovej plochy. Vrcholové krasokorčuliarky potrebujú mať zabezpečený štandard ľadovej plochy, na ktorý sú zvyknuté počas tréningov a súťaží. S vedením bratislavských zimných štadiónov sme absolvovali predbežné telefonické prieskumy ohľadom kvality ľadovej plochy, rozlohy, prevádzkových podmienok, termínov. Najvhodnejším pre natáčanie spotu bol zimný štadión Ondreja Nepelu, ktorý ako jediný nemá prístup denného svetla a tým vytvára ateliérové podmienky. Najviac v ústrety nám však vyšiel Zimný štadión na Harmincovej ulici v Bratislave. Rozhodujúce bolo, že tento ľadový štadión práve končil sezónu a ponúkol nám ekonomicky výhodnejšie podmienky na realizáciu nášho zámeru. Taktiež stojí za spomenutie veľká miera ochoty a ústretovosti zo strany Správy telovýchovných a rekreačných zariadení hlavného mesta Slovenskej republiky. Tento zimný štadión však má nevyhovujúce svetelné predpoklady - veľké presvetlené plochy po oboch stranách. Z tohto dôvodu muselo natáčanie prebiehať v noci. Produkcia so správou zimného štadiónu dohodla úpravu ľadovej plochy, pripojenie na zdroj elektrickej energie, priestory na aklimatizáciu techniky s chladným prostredím, basecamp a šatne pre účinkujúcich, prístup áut materiálo-technického zabezpečenia až priamo k ľadovej ploche, kľúčový režim, parkovanie a personálne zabezpečenie prevádzky zamestnancami štadiónu.

VÝBER TECHNIKY

Kamera - Po konzultácii s kameramanom sme pre tento typ výroby zvolili kameru Alexa Xtended Technology Plus od spoločnosti Arri s možnosťou nahrávania nekomprimovaného formátu ARRIRAW. Táto kamera spĺňala požiadavku snímania 200 fps. Od jej uvedenia na trh získala početné prestížne ocenenia vyplývajúce najmä z kvality záznamu ale i z komfortu, ktorý poskytuje kameramanovi.

Objektívy – sada objektívov Cooke S4i s Look Cooke sme zvolili pre ich spoľahlivosť v náročných podmienkach, ostrosť obrazu s jemným a hladkým vykreslením zabezpečujúcim spolu s rozmernosťou vysoký kontrast a estetiku obrazu. Umožňujú kontrolu svetlice, skreslenia, oslňujúceho lesku a sférickej aberácie pri plne otvorenej clone. Zameranie a mechanizmus cam-typ umožňuje hladké úpravy zaostrenia.

K dispozícii sme mali kompletný set objektívov obsahujúci: Cooke S4i 18mm T2, Cooke S4i 25mm T2, Cooke S4i 32mm T2, Cooke S4i 50mm T2, Cooke S4i 75mm T2, Cooke S4i 100mm T2, Cooke S4i 135mm T2.



Obr. 35. Kamera Arri Alexa Xtended Technology umiestnená na kamerovom rigu MILO motion control.

Kameru spolu s príslušenstvom sme si prenajali od spoločnosti Reproduction. Od rovnakej spoločnosti sme si pre zefektívnenie procesu kumulácie techniky prenajali aj rádiostanice s príslušenstvom a klapku.

Svetelná technika – Dvanásť a deväť kilowattové svetlá nám prenajala spoločnosť Daylight Rental. Spolu so svetlami bolo nevyhnutné zostaviť set príslušenstva pozostávajúci zo statívov Long John na veľké svetlá, rôznych veľkostí „C“ standov, Cee Boxov, Cee káblov, Matthellin, rámov, filtrov, fólií, zeleného plátna, sandbagov ako aj rebríka, gurní, káblových prejazdov, rudle a auta.



Obr. 36. Tri dvanásť kilowattové svetlá na mieste natáčania.

Elekrický agregát - po konzultácii s hlavným osvetľovačom sme vybrali vhodný dieselgenerát, ktorý sme prenajali od spoločnosti Sven Rippa.

Zvuk - natáčanie sa realizovalo bez snímania kontaktného zvuku.

Motion control rig - Ako už bolo uvedené, celá príprava bola nastavená na kamerový rig od spoločnosti Mark Roberts Motion Control – MILO so štyrmi 2,5 metrovými kusmi koľajníc o celkovej dĺžke 10 m. Maximálne dosiahnuteľná výška kamery bola 4,12 m. Technológiu MILO motion control sme si zapožičali od spoločnosti Štúdio 727.



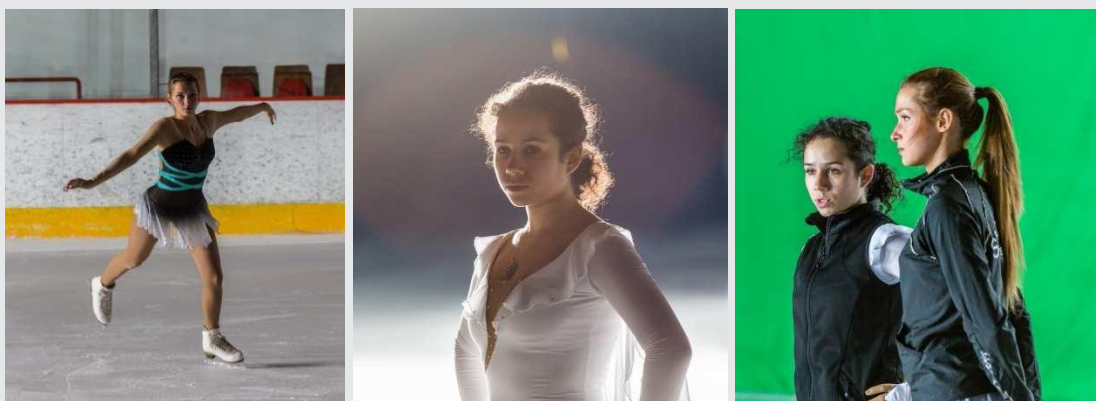
Obr. 37. Kamerový rig motion control – MILO na mieste natáčania.

VÝBER HERECKÉHO OBSADENIA

Pre spot bolo potrebné vybrať jednu alebo viac profesionálnych krasokorčuliarok. Základným kritériom výberu bola rozmanitosť a kvalita prevedenia krasokorčuliarskych figúr.

Za pomoci Zuzany Jánošovej (Krasokorčuliarsky športový klub Slovan Bratislava) sme zorganizovali výber krasokorčuliarok za účasti kameramana a vedúceho výroby. Pri výbere zohrala dôležitú úlohu časová vyťaženosť dievčat. Všetky dievčatá museli produkciu oboznámiť so záväzkami počas vtedy ešte len približne plánovaného obdobia nakrúcania. Zohľadnili sme ich školské a tréningové povinnosti, sústredenia a v neposlednom rade zdravotný stav.

Tvorivé zložky počas výberu špecifikovali estetické kritéria, podľa ktorých sme vybrali dve typovo odlišné účinkujúce krasokorčuliarky - jedna vyniká v piruetách a druhá má zameranie na výskoky. Obe sú pôvabnými členkami Krasokorčuliarskeho športového klubu Slovan Bratislava - Viktória Jánošová (juniorská kategória) a Mária Vinogradová (seniorská kategória). Obe dievčatá, napriek ich nízkemu veku, už mali predošlé skúsenosti s natáčaním a javili sa ako zodpovedné, snaživé a disciplinované.



Obr. 38. Krasokorčuliarky pred natáčaním na zimnom štadióne.

Po castingu sme si s každou účinkujúcou prešli následnosť vybraných krasokorčuliarskych figúr a farebné preferencie v oblasti kostýmov. Výhodou spolupráce s profesionálnymi športovkyňami bola možnosť výberu už hotového kostýmu z ich početnej garderóby využíwanej na súťaže. S účinkujúcimi sme uzatvorili zmluvy o vytvorení diela a poskytnutí licencie na jeho šírenie.

Komparznú scénu sme naplnili dobrovoľníkmi z radov známych a rodiny.

VÝROBNÝ ŠTÁB

Pri výbere štábu sme brali dôraz na kvalitu jednotlivých profesií. Natáčanie bolo príliš komplikované na to, aby mohli dostať väčší priestor neskúsení zástupcovia jednotlivých hlavných profesií. No aj napriek tomu sa na príprave lokácie a samotnom natáčaní podieľalo množstvo dobrovoľníkov, ktorí výrazným spôsobom napomohli s realizáciou tohto projektu.

Pod vizuálnu stránku filmu sa výrazne podpísal kameraman Peter Bencsík. Motion control animátorom bol autor práce a podporu mu zabezpečovali motion control operátori Stanislav Nízky, Ľubomír Výboštok, Michal Staňo, Peter Zubaľ a Roman Zdenko. Ostril Rafael Skurka, ktorý sa spolu s video operátorom Marekom Skurkom staral aj o kamerovú techniku. Funkciu hlavného osvetľovača zastrešil dlhoročný spolupracovník kameramana Roman Hlobeň. Jeho tím tvorili šiesti osvetľovači.



Obr. 39. Režisér s kameramanom (vľavo) a štáb počas prípravy (vpravo).

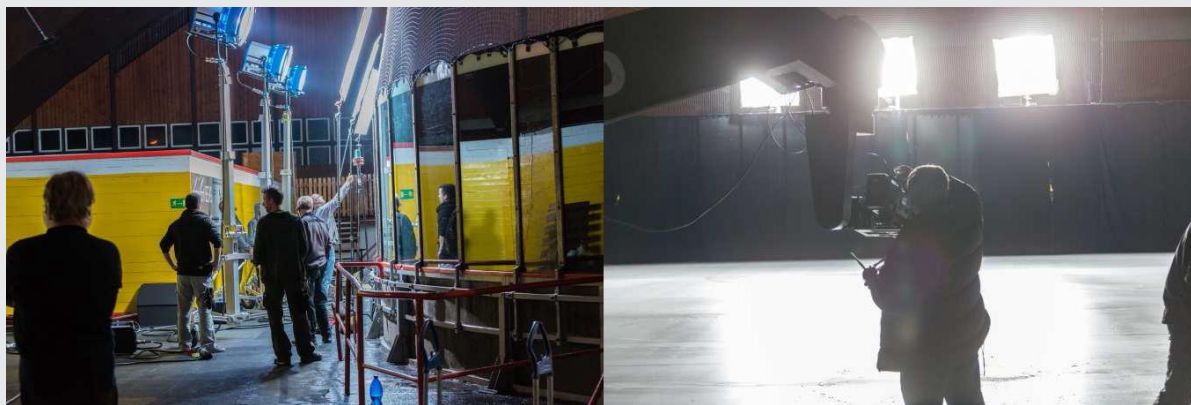
Vedúca výroby Lucia Rumplová a jej produkčný tím, v zložení Martina Vasiľková a Peter Nemčovič, zabezpečili plynulý chod nakrúcania. Stavebné úpravy počas natáčania boli vykonané Slávkou Sedláčkovou, Karolom Hudákom a Jaroslavom Šimunom. Catering pravidelne dopĺňali Jana Minaroviech a Erika Kliková. Fotografie z natáčania zhotovil Rastislav Janko. Matej Longauer a jeho fotografický tím mali na starosti sekundárne snímanie akcie za účelom mapovania do reflexných plôch.

PRÍPRAVA SCÉNY

Natáčanie na zimnom štadióne sme zahájili po ukončení prípravných prác a naplánovaní výroby. Realizácia sa uskutočnila počas jedného filmovacieho dňa, pričom samotné natáčanie bolo realizované v nočných hodinách, s ohľadom na svetelné podmienky. Plán natáčania bol dodržaný - celú hereckú akciu sme nasnímali za jeden deň, aj keď s nadčasmi. Keďže sme natáčali v interiéri zimného štadiónu, počasie nepredstavovalo hrozbu ovplyvňujúcu proces výroby. Všetci zúčastnení boli vopred informovaní o podmienke teplo sa obliecť a obuť.

Po príchode na štadión sme rozdelili priestor na basecamp, priestor na hereckú akciu a priestor na rozcvičku a skúšanie choreografie. Rozložili sme catering. Pracovníci stavby začali s upevňovaním čiernej krycej látky a zeleného plátna. Počítali sme s tým, že technika bude potrebovať dobu na aklimatizáciu v chladnom prostredí. Aj z tohto dôvodu sme motion control system priviezli na štadión už deň pred natáčaním. Do aklimatizačnej miestnosti, bežne používanej ako šatňa pre verejnosť, sme za pomoci sťahovacej služby a motion control operátorov umiestnili robota. Následne bolo potrebné ho zložiť, otestovať jeho funkčnosť, kalibrovať a vyskúšať naplánovanú akciu. Počas noci bol robot bezpečne zamknutý a strážený bezpečnostnou službou.

Kamerová technika a svetlá mali nástup s predstihom a to s prihliadnutím na časovú rezervu pre aklimatizáciu techniky na nízku teplotu. Pokúsili sme sa dostať svetlá do správnej výšky korešpondujúcej pozícii okien v *Sale Terrene* čo sa nám ale nepodarilo kvôli pevne nainštalovaným mantinelovým plexisklám.



Obr. 40. Umiestnenie svetiel.

PRÍPRAVA KAMEROVÉHO RIGU MILO MOTION CONTROL

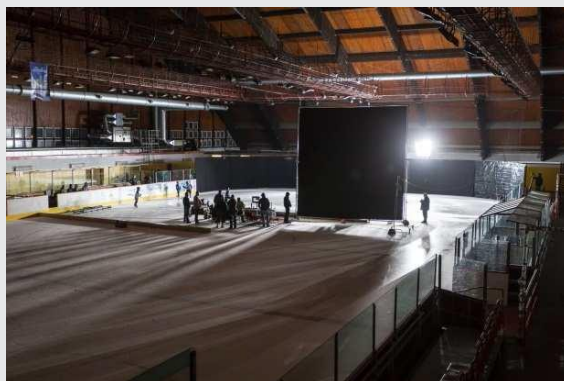
V deň natáčania sme motion control robota dostali na ľad počas dvoch etáp. V prvej etape bol robot priblížený k ľadovej ploche zatiaľ čo prebiehala úprava ľadovej plochy roľbou. Bezprostredne po upravení plochy bolo potrebné umiestniť na ešte mokrý ľad koberec a OSB dosky, aby napevno priľnuli a fixovali tak na ne umiestnené koľajnice pre robota. Po tom, ako sme sa ubezpečili o bezpečnom priľnutí dosiek k ľadu, chceli sme na ne nainštalovať koľajnice. Vyskytla sa však komplikácia spočívajúca v chýbajúcej súčiastke mechanizmu koľajníc. Pokúsili sme sa o jej náhradu z iného motion control zariadenia nachádzajúceho sa v okolí, no náhradný diel nebol žiaľ kompatibilný a koľajnice sme boli nútení skrátiť. To malo zásadný vplyv na zmenu pripravených konfigurácií a animácií celého motion control systému.

Po presunutí systému motion control MILO na ľadovú plochu sme zriadili v jeho blízkosti réžiu. Nasledovala jeho kalibrácia a konfigurácia na novo vzniknuté podmienky. Úpravu pripravených animácií celého systému sme realizovali za účasti nastúpeného celého štábu pod značným psychickým tlakom. Situáciu komplikovalo i to, že na skrátených koľajniciach nebolo možné dosiahnuť požadované rýchlosti a zrýchlenia. Taktiež to bola prvá praktická skúsenosť s touto technológiou a podobným zadaním. Realita ukázala, že aj napriek poctivej a zodpovednej príprave na počítačovom simulátore, prax priniesla ešte väčšie obmedzenia ako sme očakávali.



Obr. 41a, b. Príprava kamerového rigu MILO motion control na ľadovej ploche.

Keďže sme pred natáčaním mali časovú rezervu (začať sme mali až v čase úplnej tmy kvôli potrebnej atmosfére celého spotu), podarilo sa nám v časovom sklze upraviť animácie pohybu kamery a celého systému tak, aby bol čo najviac zachovaný celkový zámer. Museli sme však vypustiť niektoré plánované prvky, ako napr. rotáciu kamery nad krasokorčuliarkou.



Obr. 42. Úprava konfigurácie systému pred natáčaním.

SNÍMANIE KRASOKORČULIARSKYCH AKCIÍ

Po doladení a odskúšaní funkcionality celého systému sme začali testovať herecké a kamerové akcie. Najprv sme si overili s kameramanom a osvetľovačmi nasvetlenie scény bez krasokorčuliarok, vzhľadom na pôvodný zámer. Po drobných úpravách sme sa mohli v pokoji venovať režirovaniu krasokorčuliarok. Keďže krasokorčuliarky boli výborne tréningovo pripravené, bolo s nimi radosť spolupracovať - sami ponúkali nádherné krasokorčuliarske figúry. Usmerňovali sme ich hlavne s ohľadom na miesta, kde majú vykonať akciu a dávali sme pozor na synchronizáciu pohybu kamery a akcie krasokorčuliarky.



Obr. 43. Krasorčuliarka v akcii z pohľadu pomocnej kamery.

Keďže nebol časový priestor na online kompoziting priamo na mieste natáčania, museli sme nasnímať väčšie množstvo záberov a spoľahnúť sa na vlastnú predstavivosť o budúcich kompozíciách. Neskôr v strižni sa ukázalo, že by sme niektoré časti, ktoré sa nám na natáčaní zdali byť v poriadku, určite nasnímali opakovane, aby sme podporili celkovú dramaturgiu spotu správnym časovaním jednotlivých nástupov akcií krasokorčuliarok a dosiahli by sme lepšie obrazové kompozície.

Pred a po ukončení jednotlivých akcií sme vykonali nasnímanie technických záberov bez krasokorčuliarok. Následne bola vykoná úprava ľadovej plochy.

UKONČENIE NAKRÚCANIA

Po ukončení nakrúcania sme prevzali a následne archivovali nasnímaný materiál ako i animačné dáta z ovládacieho programu Flair. Zaznamenali sme informácie o použitej optike a nastavení kamery.

Priestory sme vrátili do pôvodného stavu. Upratili sme pracovný neporiadok, demontovali sme motion control a odstránili techniku z ľadovej plochy.



Obr. 44. Demontáž zariadení.

POSTPRODUKCIA

Postprodukciiu, ako aj spracovanie zdigitalizovaných dát sme realizovali v Štúdiu 727. Využili sme komplexné vybavenie štúdia ako i bohaté praktické skúsenosti pracovníkov. Na spracovanie nasnímaných dát sme mali k dispozícii rozsiahlu výpočtovú silu a potrebné softvérové vybavenie.

STRIH

Hlavnou úlohou vo fáze strihu (realizovaného v programe Avid Media Composer) bolo vytvoriť pocit plynulých fragmentov akcií krasokorčuliarok, pričom hlavným limitujúcim faktorom bolo práve reálne časovanie figúr v nadväznosti na aktuálnu pozíciu kamery. Keďže vo fáze natáčania nebolo možné detailne odkontrolovať časovanie jednotlivých akcií a ich časopriestorové previazanie, presunula sa táto fáza až do strižne.

Prvou fázou bolo teda zosynchronizovanie jednotlivých klapiek oboch častí jazdy kamery. Vďaka veľkej miere podtočenia (200 fps) bola synchronizácia realizovateľná veľmi presne aj napriek absencii synchronizácie motion control systému a kamerovej uzávierky v čase natáčania.

Následne po fáze výberu relevantných častí jednotlivých figúr a prejazdov krasokorčuliarok sme tieto postupne kombinovali v zjednodušenom náhľade pomocou multi- expozície. Samostatne spracované polovice akcie (dve rôzne nastavenia motion control a svietenia) boli najprv spracované samostatne a následne v presne definovanom momente (prechod medzi koncom prvej a začiatkom druhej naprogramovanej jazdy kamery na motion control) spojené do jednej súvislej akcie. Takto vznikol hrubý technický zostrih, z ktorého bol jasný výber a časovanie jednotlivých fragmentov. Tento zostrih bol následne upravený v časovej osi, pričom spomaľovanie a zrýchľovanie počas jednotlivých figúr (otočky, prejazdy, skoky, atď.) malo za cieľ akcentovať pocitovú komunikáciu s divákom.

Tento časovo upravený zostrih bol však len ideovým náhľadom pred ďalšími fázami postprodukcii. Totiž v prípade jeho priameho použitia do ďalšej fázy by sme boli limitovaní definitívnym časovaním a modifikácie v neskorších fázach by boli prakticky nemožné – z časovania totiž vychádza nielen pohyb kamery, ale aj kompoziting a všetky jeho prípravné fázy. Z tohto dôvodu bol hlavným výstupom z fázy strihu časovo neupravený kontinuálny obrazový zostrih, ktorý slúžil ako referencia pre rekonštrukciu 3D pohybu kamery a následnú animáciu virtuálneho prostredia, rovnako tak aj ako referencia pre prípravné práce fázy kompozitingu.

Zaujímavým (no očakávaným) poznatkom z fázy strihu bola skutočnosť, že absencia možnosti priamej vizuálnej kontroly na natáčaní (pre-kompoziting viacerých klapiek, príp. v optimálnom prípade živý náhľad kombinovaný so zosynchronizovanou natočenou akciou) výrazne ovplyvnila celkové možnosti použitia jednotlivých klapiek. Časovanie akcií, prekrývanie postáv, opakovanie figúr – to sú niektoré z momentov, kde sa toto časovo – rozpočtové obmedzenie naplno prejavilo. Rozhodnutie vo fáze natáčania, ktoré smerovalo k zdanlivo nadmernému opakovaniu akcií (vyše 20 klapiek oboch častí akcie), sa však naopak ukázalo ako veľmi užitočné a do veľkej miery eliminovalo tieto obmedzenia.



Obr. 45. Ukážka využitia multiexpozície a kľúčovania pri offline zostrihu.



TVORBA ATMOSFÉRY PLYNUTIA ČASU V 3D PROSTREDÍ

Naším zámerom bolo, okrem iného, dodať zobrazeniu získaných 3D dát špecifickú atmosféru. Oproti štandardným postupom fotorealistického zobrazenia (generovaných výpočtom - render), sme pri našej produkcii museli riešiť najmä tieto špecifické problémy: veľké objemy zdigitalizovaných dát, nespojitá svetelnosť textúry a absencia reflexnej mapy - prílišná difúznosť.

3D dáta zdigitalizovaného objektu sú veľmi detailné a teda aj veľmi objemné. Výsledný model *Saly Terreny* pozostáva až z dvoch miliárd (!) polygónov, pričom konvenčné, grafikmi vytvárané modely, majú takýchto plôšok rádovo milióny. Takéto obrovské objemy dát kládli extrémne, až

nedosiahnuteľné nároky na technológiu, či už po stránke softvéru, alebo hardvéru. Okrem interaktívneho zobrazenia za účelom editácie (napr. kamery), ktoré sme vyriešili vytvorením zjednodušeného modelu („low poly“), sme museli vyriešiť aj problém veľkej výpočtovej náročnosti (20 minút na jednu vrstvu jedného filmového políčka v rozlíšení 720p⁵²). Ten sme vyriešili rozdelením celého modelu na niekoľko stoviek častí a ich konverziou do optimalizovaného formátu (VrayMesh)⁵³.

Farba a textúra povrchu, ktoré obsahoval získaný digitálny model (color per vertex), boli vygenerované z veľkého množstva fotografií a 3D skenov v rôznych svetelných podmienkach. Výsledná farebná informácia je z tohto dôvodu akýmsi spriemerovaním všetkých svetelných podmienok a vygenerované zobrazenie (render) preto pôsobí aj po farebnej úprave príliš jednoliato a plocho. V snahe pridať priestoru plasticitu sme vytvorili novú vrstvu (pass), ktorá po pripočítaní k pôvodnej pridala potrebný kontrast a priestor.

Samotné nasvietenie tejto vrstvy sme realizovali dynamickým osvetľovacím modelom „skyLight“ v rámci špecializovaného softvéru Vray (renderer), ktorý sme použili aj pri generovaní ostatných vrstiev. Uvedený model umožňuje, okrem iného, osvetlenie scény simuláciou napr. východu slnka alebo zmenou ročného obdobia, pričom počíta aj s farbou oblohy⁵⁴. Špecialitou rendereru Vray je tiež tzv. physical camera – typ virtuálnej kamery modelujúci reálny prístroj s DSLR čipom⁵⁵. Umožňuje komplexné nastavenie svetelnosti scény na základe známych fotografických parametrov ako sú clona (aperture), čas (shutter), či ISO⁵⁶. Keďže informácie o textúre či farbe sme zobrazili v prvej základnej vrstve, v tejto vrstve sme povrchu priradili farebné jednoliaty (50% šed') difúzny materiál, aby zachytené osvetlenie nebolo ničím skreslené. Fotorealizmus výsledku je podmienený presnosťou a detailnosťou zobrazenia rozptylu svetla a jeho odrazov v priestore. Algoritmus Global Illumination v rámci Vray, ktorý sme použili, počíta s odrazeným svetlom až do 4 úrovne pri veľmi dobrej optimalizácii, čo umožňuje napríklad rýchly náhľad, či zmenu parametrov.

Ďalšou vrstvou, ktorú sme pridali na zdokonalenie zobrazenia svetla v miestnosti, bola vrstva zastupujúca nasvietený rozptýlený prach. To sme docielili simuláciou hmly v priestore (lightFog). Princíp pridávania vrstiev je možné aplikovať aj na vytváranie iných vlastností fotorealistického zobrazenia, ako sú napríklad hĺbka ostrosti, či rôzne farebné korekcie. Nie nepodstatným prínosom je potom možnosť detailnej úpravy celej kompozície i jednotlivých vrstiev pre ďalšiu fázu kompozitingu.

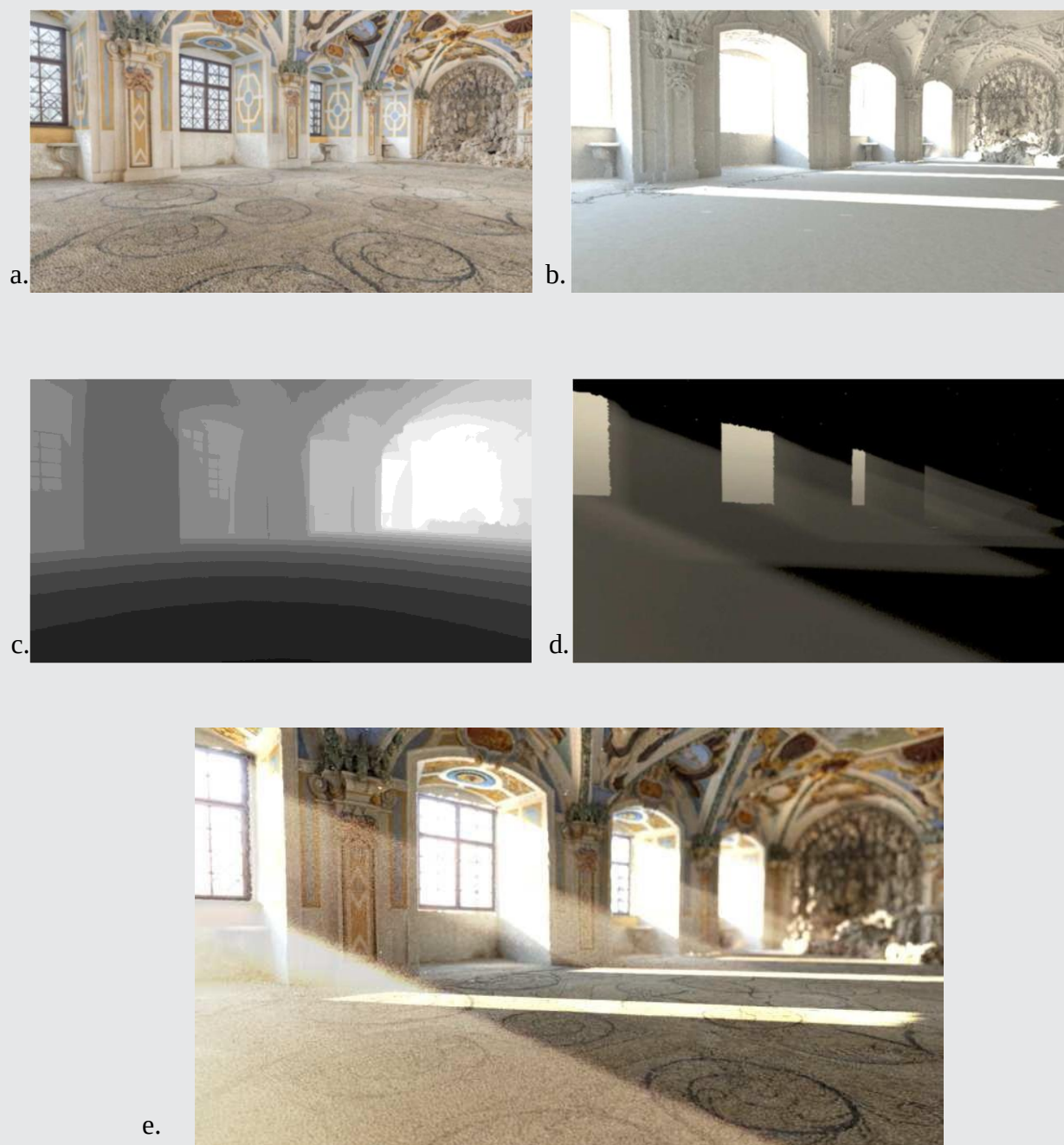
⁵² 720p – je to progresívny formát HDTV signál so 720 horizontálnymi riadkami a pomerom strán 16:9 – rozlíšenie má 1280×720.

⁵³ SANNINO 2013, s. 209.

⁵⁴ SANNINO 2013, s. 121-131.

⁵⁵ DSLR (digital single-lens reflex) čip – je to konštrukcia digitálneho fotoaparátu, ktorý využíva jednu a tu istú optickú sústavu pre záznam a aj pre náhľad pomocou zrkadla, preto sa nazývajú tieto typy fotoaparátov digitálne zrkadlovky.

⁵⁶ SANNINO 2013, s. 95-99.



Obr. 46. Ukážka jednotlivých vrstiev: a. základná vrstva - pôvodný model, b. nasvietenie, c. atmosférické efekty, d. hĺbková vrstva, e. výsledná kompozícia.

3.20. KOMPOZITING

PRÍPRAVNÉ PRÁCE

Fáza kompozitingu (realizovaného na platformách Autodesk Flame a The Foundry Nuke X) sa mohla začať bezprostredne po tom, ako bol známy výstup zo strižne. Keďže prípravné práce (klúčovanie a prevažne rotoskoping) neboli do veľkej miery závislé na virtuálnom prostredí, mohli prebiehať paralelne. Okrem časovej optimalizácie sa nám tak podarilo dosiahnuť aj obsahovú optimalizáciu, kedy priebežné výstupy z kompozitingu naznačovali možné problémové oblasti a zábery. Tieto tak bolo možné spätne do maximálnej miery eliminovať pri príprave virtuálneho pozadia, či už formou jednoduchších úprav prostredia (hľadisko historickej vernosti v tomto prípade nehrá kľúčovú úlohu, čo nám výrazne napomohlo), alebo formálnymi postupmi (lokálnym svietením, zmenou svetelných parametrov textúr a pod.).

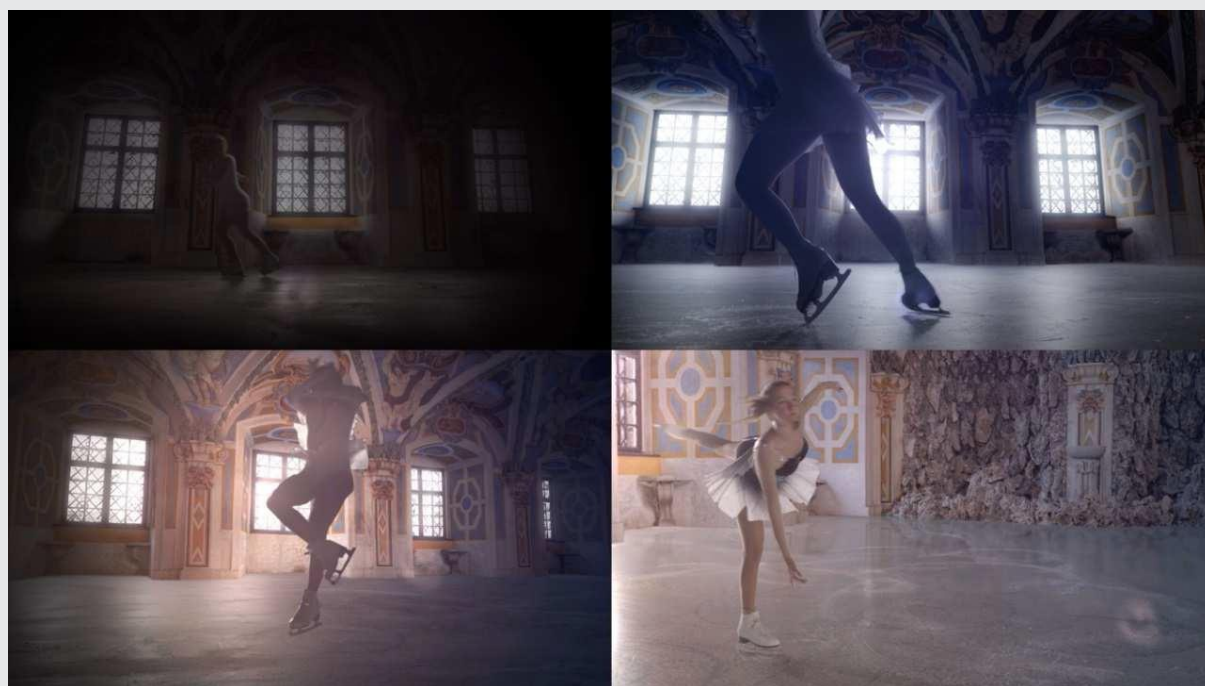
Súčasťou prípravných prác bola aj úprava kamerovej jazdy. Napriek tomu, že sme mali k dispozícii údaje z motion control systému, ktoré presne definujú dráhu kamery (polohu v čase a natočenie vo všetkých stupňoch voľnosti), bolo nutné tieto upraviť. Dôvodom bola kompenzácia nerovnomerností v pohybe kamery, ktorá vyplývala z obmedzenej časovej prípravy systému a nemožnosti dokonalej fixácie pohybového mechanizmu. S týmito obmedzeniami sme však vopred rátali a práve pre tento účel sme si počas fázy natáčania odsnímali aj niekoľko jázd kamery bez akcie krasokorčuliarok. Získali sme tak referenčné záznamy jazdy bez cudzích elementov, ktoré sme mohli použiť nielen ako čisté verzie pozadia pri vrstvení záverečnej kompozície, ale aj ako zdroj na spätnú 3D analýzu pohybu kamery, resp. jej optickú stabilizáciu.

Rovnako ako vo fáze strihu, tak aj vo fáze kompozitingu sa ukázali hlavné problémy vyplývajúce z časového a rozpočtového obmedzenia. Nemožnosť úplného vykrytia pozadí zimného štadiónu, nedostatočné klúčovacie plochy a obmedzená svetelná výbava do veľkej miery skomplikovali časť prípravy integrácie živej akcie do virtuálneho prostredia. Pozitívne naopak hodnotím fakt, že v miestach, kde bolo možné prípravu vykonať optimálne, sa táto ukázala ako funkčná po stránke konceptu ako aj praktickej realizácie (napr. nahradenie okien svetlami lúčov pre zachovanie svetelných priesvitov a pod.).

INTEGRÁCIA DO VIRTUÁLNEHO PROSTREDIA

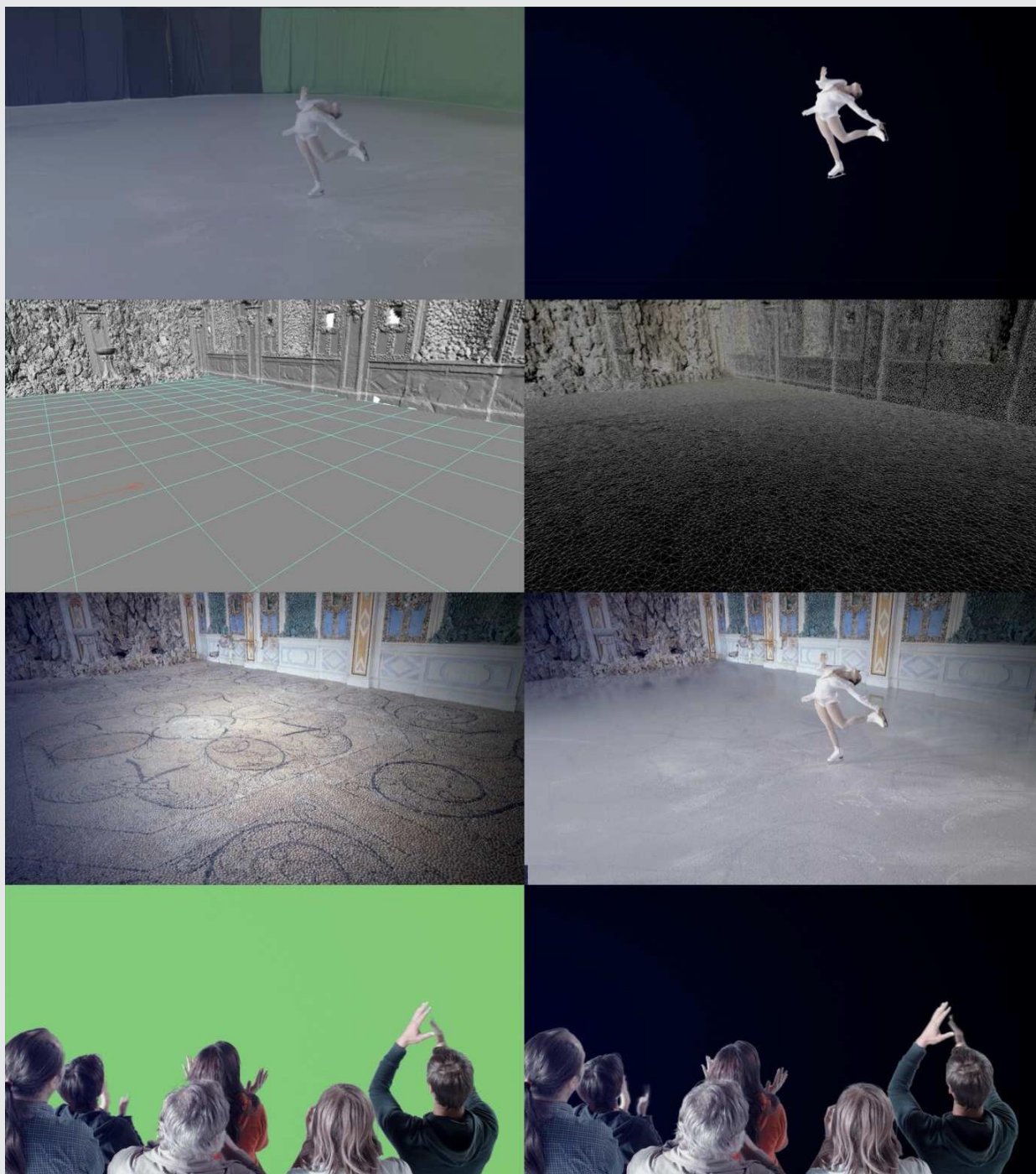
Po prípravnej fáze nasledovala samotná fáza integrácie živej akcie do virtuálneho prostredia vytvoreného 3D nástrojmi. Paralelná práca na príprave kompozitingu a virtuálneho prostredia umožnila pripraviť toto prostredie už optimalizované pre integráciu. Užitočnou sa nám ukázala tiež možnosť exportu kamier a samotného 3D modelu, ktorý umožnil dodatočné svetelné úpravy vo fáze kompozitingu pri zachovaní reálneho 3D priestoru, no bez nutnosti opakovaných nových výpočtov (rendrov 3D prostredia). Tomu napomáhali aj vhodne zvolené technické formáty, napr. vo forme podkladov s vysokou svetelnou dynamickou škálou (HDR render s výstupom do bitovej hĺbky 16fp).

Vo fáze kompozitingu boli použité prakticky všetky elementárne postupy integrácie živej akcie do virtuálneho prostredia, či už sa jednalo o klúčovanie (vytváranie kanálu transparentie za pomoci špecifickej farebnej informácie), maskovanie (rotoskopie, vytváranie orezových animovaných masiek na separáciu objektu), farebné korekcie či zladenie svietenia postáv a virtuálneho prostredia pomocou dodatočných plne virtuálnych svetiel (umiestnených vo virtuálnom priestore za pomoci exportovanej dráhy kamery). Celkové farebné a hlavne svetelné úpravy mali okrem integrácie postáv za úlohu tiež prispôsobiť hranú časť behu času (od rána až na poludnie) a zodpovedajúcim svetelným a farebným atmosféram.



Obr. 47. Ukážky kompozícií v rôznych svetelných atmosférach.

Na zvýšenie vernosti integrácie sme v maximálnej možnej miere použili reálne časti obrazu spolu s ich umelo vytvorenými ilúziami (tiene umelo projektované postavami, odrazy postáv z pomocných kamier v reflexných častiach prostredia a pod.). Vzhľadom na veľmi obmedzené časové a rozpočtové možnosti v produkčnej fáze bola následne fáza kompozitingu o to náročnejšia a to po stránke technologickej, tak aj po stránke objemovej, resp. časovej.



Obr. 48. Ukážka niektorých z čiastkových obrazových zložiek a fáz kompozície.

Až vo fáze kompozitingu sme rovnako sformovali aj definitívnu časovú os akcie (zmeny rýchlosti, akcenty spomalení, či naopak jemných zrýchlení). Nevýhodou takéhoto riešenia je nutnosť pracovať až do záverečnej fázy s celou potrebnou dĺžkou jednotlivých záberov a rovnako tak aj medziproduktov, čo vyžaduje zodpovedajúci objem práce aj dát. Výhodou je však možnosť modifikácie výsledného časovania a tak aj celkovej vizuálno-estetické formy zostrihu až vo fáze, kedy možno relevantne prakticky okamžite zhodnotiť výsledný efekt (na rozdiel od náhľadov časovaní vo fáze zostrihu, keď je subjektívny vnem výrazne ovplyvnený obrazovou nekvalitou a absenciou nosných výtvarných zložiek).



Obr. 49. Ukážka finálnej kompozície.

HUDBA A ZVUK

Napriek tomu, že tento reklamný spot je primárne založený na vizuálnom vneme, bolo dôležité, aby divák podvedome vnímal aj jeho zvukovú atmosféru. Rovnako ako v obrazovej zložke, tak aj v zložke zvukovej sme sa snažili zachovať prirodzený pocit minimalizmu. V ruchovej stope sme sa preto obmedzili na použitie jemných náznakov prirodzených ruchov prostredia – zvuky nožov na korčuliach pri jednotlivých figúrach a prirodzené ruchy ľudského tela pri skokoch a prejazdoch. Vzhľadom na to, že pri natáčaní nebola odsnímaná ruchová stopa, bolo nutné celý spot oruchovať. Tieto ruchy v zodpovedajúcom technickom prevedení (umiestnenie do „otvoreného“ zvukového prostredia simulujúceho veľký priestor štadiónu) nám hlavne v prvej časti pomohli navodiť v divákovi pocit známeho, i keď nie viditeľného, prostredia zimného štadiónu. Postupne sa charakter ruchovej stopy zvukovo mení a uzatvára tak, aby vo finálnej fáze jazdy korešpondoval s priznaným priestorom *Saly terrena*, ktorá je nielen fyzicky podstatne menšia ako priestor zimného štadiónu, ale má aj iné zvukové charakteristiky. Potlesk divákov na konci spotu tak už zaznieva vo výrazne inom zvukovom prostredí ako ruchy v jeho úvode.

Hlavné ideové posolstvo reklamného spotu je komunikované vizuálne, preto aj jeho explicitné textové vyjadrenie je komunikované len titulkom, nie ľudským hlasom. Nosná pocitová časť tak okrem ruchovej stopy ostala na hudobnej zložke. S touto výzvou sme sa obrátili na Michala Novinského. Jeho bohaté skúsenosti pri tvorbe filmovej a scénickej hudby sa prejavili aj tento krát v citlivom prístupe k hudobnému vyjadreniu atmosféry spotu tak, aby obrazovú zložku dopĺňala, no netlačila sa zbytočne do popredia.

4. ZÁVER

Predmetom práce bolo nasnímanie umelecko-športového výkonu krasokorčuliarok a jeho prenesenie do zdigitalizovaného historického priestoru *Sala terrena* na hrade Červený kameň.

Pri realizácii tejto práce sme mali za cieľ spoznať, overiť a prípadne zdokonaľiť dostupné technologické postupy pri digitalizácii existujúcich objektov. Môžeme konštatovať, že obe skúmané digitalizačné metódy majú svoje nesporné výhody.

Metóda skenovania priestoru laserovým skenerom.

Výhody:

- konzistentné a metricky veľmi presné dáta
- snímanie je nezávislé od svetelných podmienok – dá sa skenovať i za úplnej tmy
- pri málo členitých priestoroch veľmi rýchly zber dát
- možné je skenovať i plochy bez štruktúry
- jednoduché meranie i vzdialených objektov – do 150m

Nevýhody:

- bez prídavného fotografického zariadenia nie je možné nasnímať farebné informácie priestoru
- pri väčšom množstve skenovacích stanovísk nie je jednoduché dosiahnuť komplexný model bez pomocných registračných bodov
- presnosť výstupu je závislá od stability postavenia skenera, kvôli tomu je prakticky nemožné skenovať ťažko dostupné priestory
- komplikované či členité priestory je potrebné skenovať z veľkého množstva pozícií, aby bola dostatočne pokrytá celá scéna – vtedy sa ale táto metóda stáva výrazne pomalou
- skener na snímanie architektúry je schopný skenovať veľké vzdialenosti, no nevie nasnímať okolie jedného metra, je preto nevhodný do úzkych priestorov
- laser skener je pomerne drahé zariadenie

Táto metóda je vhodná na digitalizáciu architektonických objektov, pri ktorých nie je potrebná dokonalá farebná vernosť. Tá je ale pre potreby filmu naopak absolútnou prioritou. Preto je táto metóda, samostatne bez následného komplikovaného spracovania, pre potreby filmu nevhodná.

Snímanie priestoru fotogrametrickou metódou.

Výhody:

- jednoduché a dostupné snímacie zariadenia
- farebne verný 3D model objektu je možné dosiahnuť bez ďalších doplňujúcich metód snímania
- absencia potreby akýchkoľvek registračných značiek
- je možné snímať objekt aj z nestabilných pozícií – napr. z ruky alebo teleskopickej tyče
- jednoduché snímanie členitých a ťažko dostupných priestorov

Nevýhody:

- snímanie je závislé od dobrých svetelných podmienok
- problematická tvorba modelov z objektov ktoré majú plochy bez geometrickej alebo texturálnej štruktúry
- pri nedodržovaní správnych metód snímania nemusí vzniknúť konzistentný model
- veľké zmeny v priestore (posuny objektov) výrazným spôsobom komplikujú celkové spracovanie modelu

Táto metóda na digitalizáciu kompaktných, dobre štruktúrovaných nepohyblivých objektov. Dobre sa snímajú i členité a ťažko dostupné priestory. Metóda je využiteľná v prípade, že nie je potrebná vysoká metrická presnosť. Pre použitie vo filme je vo väčšine prípadov táto metóda použiteľná samostatne.

Aj napriek tomu, že na zdigitalizovanie *Saly terreny* by pre potreby filmu postačovala i samotná fotogrametrická metóda, bolo určite prínosom skombinovať ju s laser skenom. Výsledkom bol kvalitný a metricky presný 3D model, ktorý obsahoval časti s vysokou mierou detailu a vierohodnou farebnou informáciou. Takýto 3D model je použiteľný i do ďalších filmových diel.

Nakrúcanie technológiou motion control bolo veľkou skúsenosťou. Aj napriek tomu, že táto technológia sa vo svete vizuálnych efektov využíva už viac ako 15 rokov, na Slovensku sme sa s ňou stretávali len zriedka a to len v úlohe pasívnych pozorovateľov. Rozhodnutie realizovať tento projekt s technológiou MILO motion control v pozícii motion control animátora bola značná odvaha a to aj napriek predošlým skúsenostiam s menšou verziou systému motion control MODULA na filmovom projekte *Láska na vlásku*. Realizácia nášho kreatívneho zámeru nebola vôbec jednoduchá a ako nám potvrdil Peter Chris (technický špecialista zo spoločnosti Mark Roberts Motion Control), s

realizáciou takéhoto záberu by mal čo robiť i skúsený motion control animátor. Pre budúcnosť je potrebná podstatne väčšia praktická príprava.

Aj napriek všetkým komplikáciám, ktoré sa vyskytli počas natáčania a veľkému stresovému zaťaženiu, hodnotíme túto skúsenosť ako jedinečnú. Pomocou tejto technológie sa nám podarilo nadviazať dva samostatné pohyby kamery do jedného súvislého záberu. Hlavnou výhodou a prínosom pre rozšírenie palety možností vizuálneho stvárnenia bola schopnosť presnej reprodukcie pohybu kamery, počas ktorého sme mohli opakovane snímať tie isté krasokorčuliarky a to v inom čase, inej akcii a inom pohľade. Táto metóda natáčania je síce náročná, ponúka však široké kreatívne možnosti v oblasti tvorby vizuálnych filmových efektov.

Do zdigitalizovaného virtuálneho 3D prostredia *Sala terrena* sa nám podarilo vložiť natočené krasokorčuliarky. Pomocou virtuálnych svetiel sa nám podarilo vizuálne zvýrazniť meniacu sa atmosféru priestoru v čase. Výsledný pocit bol však podmienený dobrým nastavením pozícií svetiel v scéne priamo na natáčaní. V 3D prostredí bolo možné jednoducho meniť svetelnú atmosféru priestoru, no zmena svetla na natočených postavách už bola limitovaná do veľkej miery svetelnou atmosférou z natáčania. V budúcnosti je potrebné dbať na dostatočnú prípravu pred natáčaním, aby boli jasne definované zábery a z nich vyplývajú pozície svetiel voči pohybom kamery.

Hlavný prínos práce vidíme vo vytvorení a overení jedinečných postupov, ktoré výrazne rozširujú doterajšie možnosti digitalizácie reálnych priestorov, obzvlášť s ohľadom na následné využitie týchto digitálnych modelov vo filmovej tvorbe. Podarilo sa nám vyvinúť postup, ktorým unikátne spájame dve hlavné metódy digitalizácie objektov – laser sken a fotogrametriu. Spoluprácou pri vývoji softvéru so spoločnosťou CapturingReality sme dosiahli odstránenie množstva limitov, ktoré boli doteraz pri podobnom spracovaní veľmi obmedzujúce, najmä s ohľadom na limity množstva vstupných dát, ich granularitu a vzájomnú previazanosť. Výsledkom nie je iba eliminácia čiastkových nedostatkov týchto metód, ale výrazné posunutie ich celkových možností (efektivita, presnosť, realizovateľnosť). Špecificky vytvorenými procesmi sa nám podarilo dosiahnuť vysokú mieru automatizácie, čo pri použití v praxi prináša nielen časovú a finančnú úsporu, ale umožňuje použitie technológie aj širšej filmárskej základni bez nutnosti podrobnej znalosti problematiky. Miera dosiahnutého geometrického a texturálneho detailu dáva filmárom veľkú voľnosť pri návrhu a realizácii trikových scén pri zachovaní ich fotorealistického charakteru. Podmienkou pre plné využitie vo filme je samozrejme možnosť vytvárania a úpravy svetelných podmienok. Toto bolo doteraz v digitálnych reprezentáciách možné iba vo veľmi obmedzenej miere, s ohľadom na techniky používané pri snímaní predlohy (nežiadúcnosť dodatočného osvetlenia vo fáze digitalizácie, obmedzené potlačenie reálnych svetelných podmienok v čase snímania a pod.). Nami vyvinutý postup však umožňuje získať model, ktorý je svetelne neutrálny a tým sa stáva plne použiteľným pre širokú škálu filmových scén. Takýto model, spolu s technológiami ako je napr. *motion control*, ponúka široké tvorivé možnosti filmovým tvorcom hraného ale i animovaného filmu.

ZOZNAM POUŽITÝCH SKRATIEK

CAD	Computer-aided design
CCD	Central composite design
DSLR	Digital Single Lens Reflex
DXF	Drawing Exchange Format
fps	Frame per second
GIS	Geographic information system
HDR	High-Dynamic-Range
ILM	Industrial Light & Magic
LIDAR	Light Detection And Ranging
MPC	Movie picture company
NIR	Near - Infrared
OBJ	Object file
RADAR	Radio Detection And Ranging
SFM	Source from motion
UAV	Unmanned Aerial Vehicle
VFX	visual effects

ZOZNAM OBRAZOVÝCH PRÍLOH

Obr. 1. Modelovanie hlinenej tváre (obr. vľavo), digitalizovanie hlineného modelu (obr. vpravo).

[online], [citované: 5.3.2015]. In: dostupné na: <http://ivl.imnh.isu.edu>.

Obr. 2. Ukážka sieťového a fotografiou otextúrovaného modelu. [online], [cit. 10.3.2015]. In: dostupné na: <http://buf.com>,

Obr. 3. Jednotlivé fázy modelovania na základe fotografie. [online], [citované: 10.3.2015]. In: dostupné na: <http://www.pauldebevec.com>.

Obr. 4. Ukážka vytieňovanej polygonálnej siete, vytvorenej z naskenovaných bodov (Film Beautiful Creatures). [online], [citované: 25.2.2015]. In: dostupné na: <http://www.itsartmag.com>.

Obr. 5. Ukážka naskenovaného povrchu tváre z videoklipu skupiny Radiohead (House of Cards). Prvé použitie laserového skenera vo videoklipe. [online], [citované: 20.3.2015]. In: dostupné na: <http://www.glossyinc.com>.

Obr. 6. Popis jednotlivých fáz tvorby 3D modelu zo skenu. [online], [citované: 12.2.2015]. In: dostupné na: <http://www.niko3dart.blogspot.com>.

Obr. 7. Ukážka 3D modelov ľudských postáv zo skenov. [online], [citované: 27.2.2015]. In: dostupné na:

http://www.artec3d.com/case_studies/Artec+scanners+were+engaged+in+the+making+of+%E2%80%9CWorld+War+Z%E2%80%9D_24439.

Obr. 8. Ukážka modelovania hlavy z projekcie obrázkov vo filme Lemony Snicket. [online], [citované: 12.2.2015]. In: dostupné na:

http://www.fxguide.com/featured/the_technical_oscars_ilm_and_the_foundry/.

Obr. 9. 3D model vytvorený zo skenu vo filme Pompeje. [online], [citované: 12.3.2015]. In: dostupné na: <http://www.cyark.org/news/lidar-helps-generate-i-pompeii-i-movie-magic>.

Obr. 10. MILO na natáčaní v Normandii. [online], [citované: 4.3.2015]. In: dostupné na: <http://www.mrmoco.com/gallery/photo-gallery/>.

Obr. 11. Jack Black na natáčaní filmu Gulliverove cesty. [online], [citované: 4.3.2015]. In: dostupné na: <http://www.mrmoco.com/gallery/photo-gallery/>.

Obr. 12. Kamerový rig Milo s predĺženým ramenom pripravený na natáčanie celovečerného film Upside Down v Kanade. [online], [citované: 12.2.2015]. In: dostupné na internete: (<http://www.mrmoco.com/gallery/photo-gallery/>).

Obr. 13. Ukážka "robotického snímkovania zo statívu" v teréne (obr. vľavo). Foto: M. Longauer.

Obr. 14. Ukážka mračna bodov zo spracovaných dát "robotického snímkovania zo statívu" (obr. vpravo.). Autor: Štúdio 727.

Obr. 15. Ukážka "robotického snímkovania zo statívu" pomocou statívu NEDO Industrial Line. Foto: M. Longauer.

Obr. 16. Technika snímkovania "uzatvorený kruh". Obr. 17. Technika snímkovania "opitý námorník".

Obr. 18. Leica ScanStation P20. [online], [citované: 12.2.2015].
In: <http://www.geoconnexion.com/news/leica-scanstation-p20-introduced/>.

Obr. 19. Pozície snímania laser skenerom.

Obr. 20. Porovnanie farebného výstupu fotoaparátu (vľavo), foto: M. Longauer a laser skenu Leica (vpravo).

Obr. 21. Porovnanie miery geometrického detailu (zhora nadol): laser sken, fotogrametrický model, detailný fotogrametrický model.

Obr. 22. Triangulácia a previazanie identických bodov pri fotogrametrickej analýze.

Obr. 23. Príklady polôh pri automatizovanom snímaní fotografií.

Obr. 24. Previazanosť celkových fotografií vo fotogrametrickom modeli a ukážka východiskovej fotografie celku.

Obr. 25. Príklad umiestnenia fotoaparátov pri snímaní detailov.

Obr. 26. Miera detailu v celkovej fotografii (vľavo) a v dofotočenom detaile (vpravo), foto: M. Longauer.

Obr. 27. Celková scéna fotografických pozícií (hore) a výsledný point cloud (dole) v programe Capture Reality.

Obr. 28. Príklad meshingu bez farebnej informácie.

Obr. 29. Príklad modelu s aplikovanou textúrou.

Obr. 30. Svetelne neutrálny textúrovaný model (hore) a príklad jeho virtuálneho svietenia (dole).

Obr. 31. Ukážka virtuálnej pozície kamery v pracovnom prostredí 3D Maya.

Obr. 32. Zobrazenie dvoch samostatných rigov ktorých spája pozícia kamery v rohu miestnosti. Zelený rig označuje fázu č. 1. a č. 2. Modrý rig, otočený voči zelenému o 90° znázorňuje „prešvenk“ do fázy č. 3.

Obr. 33. Popis jednotlivých častí kamerového rigu MILO motion control.

Obr. 34. Porovnanie animačných kriviek kamery v karteziánskom súradnicovom systéme a následne transformovaných do pokynov pre jednotlivé časti zariadenia.

Obr. 35. Kamera Arri Alexa Xtended Technology umiestnená na kamerovom rigu MILO motion control. Foto: P. Hurinský.

Obr. 36. Tri dvanásť kilowattové svetlá na mieste natáčania, Foto: P. Hurinský.
 Obr. 37. Kamerový rig motion control – MILO na mieste natáčania. Foto: M. Longauer.
 Obr. 38. Krasokorčuliarky pred natáčaním na zimnom štadióne. Foto: M. Longauer.
 Obr. 39. Režisér s kameramanom (vľavo) a štáb počas prípravy (vpravo). Foto: M. Longauer.
 Obr. 40. Umiestnenie svetiel. Foto: M. Longauer.
 Obr. 41a, b. Príprava kamerového rigu MILO motion control na ľadovej ploche. Foto: M. Longauer.
 Obr. 42. Úprava konfigurácie systému pred natáčaním. Foto: R. Janko.
 Obr. 43. Krasokorčuliarka v akcii z pohľadu pomocnej kamery. Foto: R. Janko.
 Obr. 44. Demontáž zariadení. Foto: R. Janko.
 Obr. 45. Ukážka využitia multiexpozície a kľúčovania pri offline zostrihu. Foto: R. Janko.
 Obr. 46. Ukážka jednotlivých vrstiev: a. základná vrstva - pôvodný model, b. nasvietenie, c. atmosférické efekty, d. hĺbková vrstva, e. výsledná kompozícia.
 Obr. 47. Ukážky kompozícií v rôznych svetelných atmosférach.
 Obr. 48. Ukážka niektorých z čiastkových obrazových zložiek a fáz kompozície.
 Obr. 49. Ukážka finálnej kompozície.
 Autorom obrázkov: Ladislav Dedík, ak nie je určené inak.

ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY

BARTOŠ, P. - GREGOR, V. (3/1997). Aplikácie digitálnej fotogrametrie pri dokumentácii.

EUROSTAV, 27-30.

BITTERER, L. (2005). *Základy Fotogrametrie: Internetový učebný text pre študentov odboru*. [online], [citované: 14.3.2015] In: Dostupné na Internete: <http://svf.utc.sk/KGD/skriptá/Fotogrametria>.

BÓNA, M. - PLAČEK, M. (2007). *Encyklopédia slovenských hradov*. Bratislava: Slovart.

CRAWFORD, C. (2011). ArcGIS Blogs. Lidar Solutions In ArcGIS_part7: Minimizing noise from lidar for contouring and slope analysis [on-line]. USA. Cit. [online], [citované: 12.2.2015]. Dostupné na Internete: http://blogs.esri.com/dev/blogs/geoprocessing/archive/2009/09/02/lidarsolutions-in-arcgis_5f00_part7_3a00_-minimizing-noise-from-lidar-for-contouring-and-slope-analysis.aspx

FALTÝNOVÁ, M. (2010). Možnosti zpracování laserových dat - Dokumentace liniové stavby. Diplomová práce. Praha: ČVUT, 86 s.

FORSYTH, D. - PONCE, J. (2011). *Computer Vision: A Modern Approach* (2. vyd.). Prentice Hall, 792 s.

FRASER, C. S. (1998). Automated Processes in Digital Photogrammetric Calibration. *Digital signal procesing* 8, 277-283.

FRAŠTIA, M. (2008). Kalibrácia a testovanie digitálnych kamier pre aplikácie blízkej fotogrametrie. Edícia vedeckých prác, zošit č.52. Bratislava: Bratislava: STU SvF.

FRAŠTIA, M. - BARTOŠ, P. (2010). Fotogrametria I.: Vybrané state z analytickej fotogrametrie. Bratislava: STU.

GOYER, G. - WATSON, R. (1963). The Laser and its Application to Meteorology. *Bulletin of the American Meteorological Society*. 44 (9), s. 564-575.

GREGOR, V. - BARTOŠ, P. (1994). *Fotogrametria a diaľkový prieskum zeme I*. Bratislava: STU.

GREGOR, V. - BARTOŠ, P. (1994). *Fotogrametria a diaľkový prieskum zeme II*. Bratislava: STU.

HARTLEY, R. - ZISSERMAN, A. (2000). Multiple View Geometry in Computer Vision.

Cambridge: Cambridge University Press. Cit. 04. 3. 2015. Dostupné na Internet: <http://www.robots.ox.ac.uk/~vgg/hzbook/>, 634 s.

HODAČ, J. (2011). *Pozemní fotogrametrie*. Ústí nad Labem: Filozofická fakulta J. E. Purkyně.

CHLEPKOVÁ, M. (2005). Zber údajov pre tvorbu ZB-GIS digitálnou fotogrametriou. *Diplomová práca*. Bratislava: STU SvF.

CHLEPKOVÁ, M., MARČIŠ, M. - HALIČKOVÁ, J. (2010). Digitálna fotogrametria pri dokumentácii archeologických nálezov. *GIS v archeológii*. Nitra: Nakladateľstvo AÚ SAV.

JANČOŠEK, M. - PAJDLA, T. (2009). Segmentation based Multi-View Stereo. *Computer Vision Winter Workshop 2009*. Eibiswald (Austria): PRIP, Vienna University of Technology, Austria. Cit. 05. 2. 2015. Dostupné na Internet: <http://cmp.felk.cvut.cz/~jancom1/JancosekCVWW09.pdf>

JANČOŠEK, M. - PAJDLA, T. (2011). Multi-View Reconstruction Preserving Weakly-Supported Surfaces. *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition 2011* (s. 3121-3128). Colorado Springs: Praha. Cit. 15. 2. 2015. Dostupné na Internet: <http://cmp.felk.cvut.cz/~jancom1/JancosekCVPR11.pdf>

JANOTA, Ľ. (1974). *Slovenské hrady*. Bratislava: Tatran, 528 s.

ALBERTZ J. - MEYDENBAUER, A. (2001). Pioneer of photogrammetric documentation of the cultural heritage. *Photogrammetry and Cartography, Proceedings 18th International Symposium CIPA 2001*. Potsdam (Germany): Technical University of Berlin.

KULÍKOVÁ, A. (2009). Metodický manuál č. 6. Metodický manuál pre zabezpečenie konverzie 2D objektov. Bratislava. [online], [citované: 12.3.2015]. Dostupné na Internet: <http://opis.culture.gov.sk/obsah/metodicke-manualy/metodicky-manual-pre-zabezpecenie-konverzie-2d-objektov>

LUHMANN, T. (2006). *Close Range Photogrammetry*. Scotland: Whittles Publishing, 510 s.

MEDVECKÝ, J. (2002). Sala terrena na hrade Červený Kameň. *Pamiatky a múzeá*, 51/1, 51- 56.

NAVRÁTIL, R. (2000). 3D Skenování. Dostupné na Internet: <http://robo.hyperlink.cz/3dskenery/index.html>

PAVELKA, K. (2003). *Fotogrammetrie*. Plzeň: Západočeská univerzita. PAVELKA, K. (2011). *Fotogrammetrie 2*. Praha: Nakladatelství ČVUT, 160 s.

PAVELKA, K. - HODAČ, J. (2008). *Fotogrammetrie 3: digitální metody a laserové skenování*. Praha: Česká technika – nakladatelství ČVUT, 187 s.

SANNINO, C. (2013). *Photography and rendering with V-Ray*. Ortacesus, Italy: GC edizioni, 227 s.

ŠOLTÉSOVÁ, D. (2005). In H. MORAVČÍKOVÁ, *Architektúra na Slovensku. Stručné dejiny*. (s. 68, 96, 97). Bratislava: Slovart.

TIŠNOVSKÝ, P. (2003). Bezkontaktní digitalizace předmětů pomocí 3D scanneru Minolta Vivid VI-700. *Elektrorevue*, č. 13, 1-25.

VERNON, D. (1991). *Machine Vision*. New York: Prentice Hall, 255 s.

VOJTIČKO, A. a kol. (1998). Terminologický slovník geodézie, kartografie a katastr.

Bratislava: Úřad geodézie, kartografie a katastra Slovenskej republiky a Český úřad zeměměřický katastrální.

WEINKAUF, G. (27. 4. 2014). Archaeology Professor Sarah Yeomans Discusses the Reality of Ancient Pompeii. [online], [citované: 9.4.2015]. Dostupné na Internetu: http://www.huffingtonpost.com/gregory-weinkauf/archaeology-professor-sarah_b_4855981.html

WILSON, J. - HAWKES, J. (1987). *Lasers. principles and applications*. New York: Prentice Hall.