

## Tvorba 3D modelů a jejich převod vo VR / AR

### Úvod do problematiky

#### Úvod

Virtuální realita (VR) je moderní technologie, která nám umožňuje za pomoci speciálního hardwareu - VR brýlí, vstoupit do virtuálního světa. VR se začíná využívat v mnoha oborech a své místo by si mohla získat i v geomatice. Cílem budoucí doktorské práce je propojit tuto technologii se současnými metodami geomatiky, jako je dálkový průzkum Země, fotogrammetrie, laserové skenování či GIS. VR nám umožňuje nové a lepší vizualizační možnosti pro práci s 3D modely, jejich měření a jejich prezentaci. VR nám může výrazně pomoci s rozбором a analýzou některých objektů dálkově, můžeme tak provádět potřebné analýzy na dálku bez nutnosti objekt navštívit, za předpokladu, že je model zpracován správnou technikou a technologií bez ztráty kvality. Doktorské studium, jejíž součástí je i tato studie, se zaměřuje na již zmíněný proces tvorby 3D modelů bez deformací či ztráty kvality textury. Technologii VR je možné využít i ve výuce, kdy je za pomoci této technologie možné studenty zaujmout například zcela novou vizualizací 3D modelů, či analýzou historické klenby. Celkově se práce zaměřuje na propojení VR s aktivitami různých oborů, především tedy na dokumentaci historických památek a tvorbou 3D modelů pro kvalitní použití ve VR.

#### Proces samotné tvorby 3D modelů za pomoci digitálních fotografií

Velký rozvoj hardware v posledních letech nám nyní umožňuje zpracovávat mnohem větší soubory dat, než tomu bylo dříve. Zároveň se tomuto trendu přizpůsobuje i fotogrammetrický software, dnes běžně používaný, který umožňuje tvořit detailní a kvalitní 3D modely za pomoci IBMR (image based modeling and rendering) technologie.

**(IBMR technologie** – fotogrammetrická technologie, pracující na základě obrazové korelace; obecně se dá říct, že tato technologie využívá překrývajících se fotografických snímků modelovaného objektu k určení prostorových bodů na základě klasické triangulační metody, kdy ze dvou a více snímků lze spočítat prostorové souřadnice určovaného bodu. Podmínkou pro využití této technologie kromě výkonného hardwaru je dostatečně velký překryt fotografických snímků, jejich dostatečná kvalita a dokonalé pokrytí objektu snímkem, který je základem přesného a kvalitního výsledku.

Populární v současné době je i kombinace laserového skenování a IBMR technologie při tvorbě 3D modelů. Tato kombinace je užitečná, neboť díky fotogrammetrii získáme perfektní detail/texturu objektu, laserové skenování nám dodá přesné rozměry, kvalitní model povrchu i v tmavých místech a může sloužit i při modelování složitých tvarů (např. zábradlí). Pro sběr dat je nyní využíváno i dronů

(RPAS – remotely piloted aircraft system), které nám umožní snímkovat těžce přístupná místa. RPAS může být využit s různými kamerami a díky nim získat data o objektu v různých částech elektromagnetického spektra (NIR, TIR, RGB, ..). Často se tak stává, že některé informace jsou viditelné jen v určité části spektra (zejména kupř. stav vegetace). Multispektrální snímání začínají být využíváno v podobě dronů v zemědělství i lesnictví, kde díky výpočtu NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) indexu je možné sledovat vitalitu vegetace a na základě této informace provádět následné optimální kroky (ničení škůdců, inteligentní lokální dávkování hnojiv apod.) NDVI využívá výrazného rozdílu poměru odrazivosti vegetace v červeném viditelné a blízké infračervené části spektra.



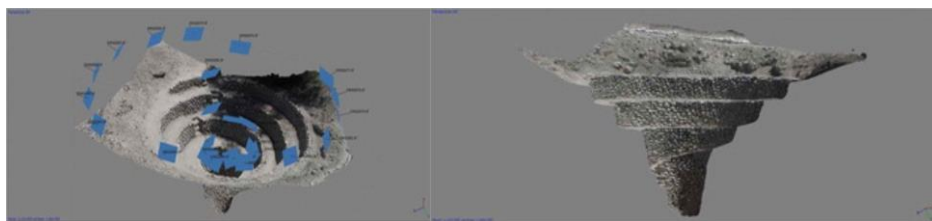
Obr. 1 – příklad využívaných RPAS (vlevo Dji Mavic – RGB), vpravo Ebee s vyměnitelnou RGB, NIR, multispektrální kamerou a termální kamerou)

Tyto technologie jsou již poměrně hojně využívány při tvorbě 3D modelů, vždy byl ale velký problém s jejich výslednou vizualizací; výsledné kvalitní modely byly pro zobrazení příliš velké nebo k nim byl zapotřebí speciální software, kterým každý nedisponuje. Tato práce se zaměřuje na VR technologii pro zobrazení 3D modelů a možnosti jejich využití a zpřístupnění širší odborné veřejnosti. Pro použití 3D modelů pro VR je ale zapotřebí proces tvorby upravit, aby je bylo možné přenést do virtuálního světa bez ztráty kvality či modelové deformace povrchu při decimaci dat.

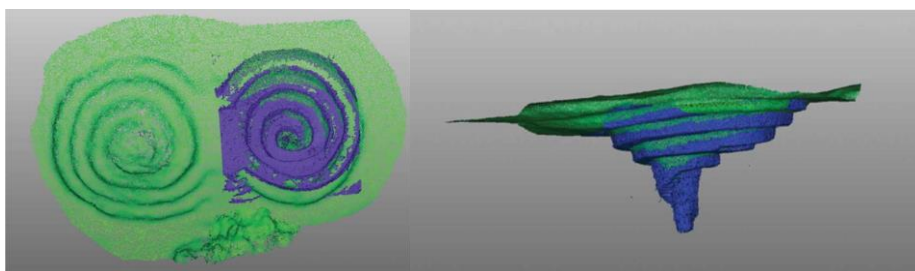
Práce se tedy zaměřuje na optimalizaci komplexního procesu tvorby 3D modelu, který obsahuje tři základní kroky: sběr potřebných dat, vhodnou tvorbu samotného 3D modelu a vizualizaci 3D modelu.

## Dokumentace historických objektů

Ve studiu jsem se zprvu zabýval tvorbou samotných 3D modelů historických objektů. Jedná se o dokumentační činnost, kdy za pomoci výše zmíněných technologií IBMR, laserového skenování a RPAS lze získat zpracovaný model objektu, který slouží jako základ pro další analýzy nebo je využíván jako klasická dokumentace stavu objektu k určitému datu. Zde je na ukázkou uveden projekt v jihoamerickém Peru, kde za pomoci RPAS a pozemní fotogrammetrie byly zdokumentovány starověké akvadukty zvané puquíos.



Obr. 2 – Ukázka studny – texturované husté mračno, vytvořené pozemní fotogrammetrií



Obr. 3 – Spojení hustých mračen (zelená – letecká fotogrammetrie, fialová – pozemní fotogrammetrie)

Na obrázku 3 můžeme vidět spojení modelů z letecké a pozemní fotogrammetrie pro zkvalitnění výsledků; lze zde pozorovat, jak kombinací různých metod může výsledek vzájemně doplnit či rozšířit o blízké okolí.

Dalším významným projektem, na kterém jsem se podílel, byla dokumentace hrobky proroka Nahuma ve městě Alqosh v Iraku ve spolupráci s firmou Gema Art. Důvodem dokumentace hrobky byl její špatný technický stav, dvě zdi v jižní části hrobky včetně části střechy se rozpadly. Pro zachování hrobky bylo potřeba neodkladně zakročit, aby nedošlo k dalšímu poškození nebo destrukci celého objektu. Projekt je rozdělen do 3 částí. První část byla dokumentace stávajícího stavu, kdy se vytvořil dva 3D model za pomoci IBMR technologie a laserového skenování. Jeden obsahoval zasypanou hrobku zřícenými částmi, druhý model byl vyčištěný od zříceného materiálu. Tyto modely sloužily jako podklad pro následnou rekonstrukci objektu. Do modelu se digitálně domodelovaly zničené části podle historických fotografií. Doplněný model o zřícené zdi a střechu sloužil jako základ pro jeho následnou rekonstrukci. Rekonstrukcí odstartovala druhá část projektu. Poslední část projektu bude dokumentace zrekonstruované hrobky. Spolupráce na tomto projektu byla startem zájmu o vizualizaci pomocí VR. Přesně pro tento typ projektů je tato technologie neskutečným pokrokem, možnost procházet jednotlivé modely ve virtuálním světě byla pro tento projekt více než zajímavá.



Obr. 4 – Modely hrobky Nahuma (vlevo – původní stav, zhroutilé zdi a střecha, vpravo doplněný model o zničené části).

Modely byly využity pro pilotní VR projekt, díky kterému byl nalezen ideální postup pro tvorbu modelů pro VR. Testování probíhalo jak na menších objektech (sloupy uvnitř hrobky), tak na celém modelu. V současné době je hotová beta verze, která obsahuje dva modely hrobky v životní velikosti s možností jejich procházení.

## Tvorba 3D modelů pro využití ve VR

Využívání virtuální reality je v současné době na velkém vzestupu. Roku 2016 přišly na komerční trh první výrazně kvalitnější VR brýle, které nebyly pouhým prototypem, měly softwarovou podporu, včetně prvních aplikací a cenově byly poměrně přístupné. Od zmíněného počátku se obliba VR doplňků a samotné VR technologie razantně zvyšuje. Progresivní růst a zájem tak donutil okolí vyvíjet aplikace pro VR a začleňovat ho do různých oborů a aktivit. Je nezpochybnitelné, že v současnosti jsme stále na začátku využívání této technologie, ale nyní lze vidět využití například v architektuře (architekt s klientem nebo svými kolegy může navrženou stavbu virtuálně projít, může měnit polohu vůči Slunci, aby zjistil, kdy bude v domě nejvíce světla a provádět další možné simulace), vojenství (analýza bojového terénu), lékařství (virtuální operace), automobilovém průmyslu (výuka mechaniků) aj.



Obr. 4 – Brýle pro VR (vlevo HTC Vive Pro, vpravo Oculus Rift)

Na obrázku 4 jsou vyobrazeny některé z dostupných modelů brýlí pro VR. Tato technologie využívala a stále využívá tzv. majáků, které je nutno mít rozmístěné v místnosti; tyto majáky vytváří prostor, v kterém se můžete pohybovat, snímají pohyb ovladačů a brýlí. Aktuálně se technologie VR brýlí vyvinula kupředu a nové modely brýlí majáky nepotřebují, využívají kamery umístěné ze stran brýlí. Tyto kamery snímají okolí a zaznamenávají pohyby brýlí a ovladačů.

Pro účel vizualizace 3D modelů je tato technologie atraktivní a při dobrém zpracování se jedná o výrazný prostorový zážitek. Jedním z podstatných věcí, jak vizualizaci modelu vytvořit, je programovací rozhraní, které umožňuje model do VR světa přenést. K tomuto účelu jsou předně využívány herní enginy, jako například Unity nebo Unreal Engine. Jedná se o soubor nástrojů a funkcí, díky kterým je možné 3D model do VR importovat, upravit a nastavit tak, aby kvalita zobrazení byla co nejvyšší.

Jak bylo již zmíněno v kapitole 1.1, proces tvorby 3D modelu se skládá ze tří základních kroků:

- 1) **Sběr potřebných dat**
- 2) **Tvorba 3D modelu**
- 3) **Vizualizace 3D modelu**

Pro využití modelů pro VR realitu je však zapotřebí některé zvyklosti a standardy změnit. Jedná se především o změny v bodu 2 a 3.

Celý proces začíná **sběrem dat**; tato část je neměnná jak pro VR modely, tak pro standardní 3D modely pro fotogrammetrii. Z hlediska tvorby kvalitního modelu je důležité se zaměřit na kvalitu a dostatek fotografií. Ty by měly být pořízeny z různých úhlů, a každý soubor fotografií by měl být pořízen ze stejné vzdálenosti viz obr. 5.

Obr. 5 – Pozice pořízených snímků

Druhou fází je samotná **tvorba 3D modelu**, kde se již postup pro tvorbu VR modelů mění. Zpracování dat pomocí IBMR technologie i laserového skenování začíná výpočtem/zobrazením mračna bodů.

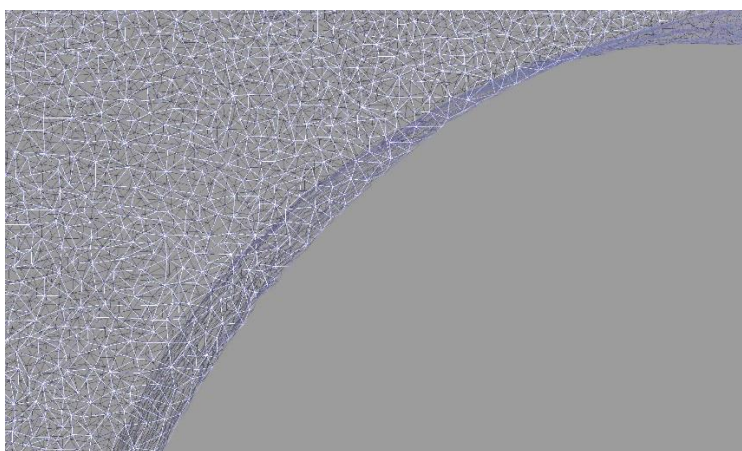




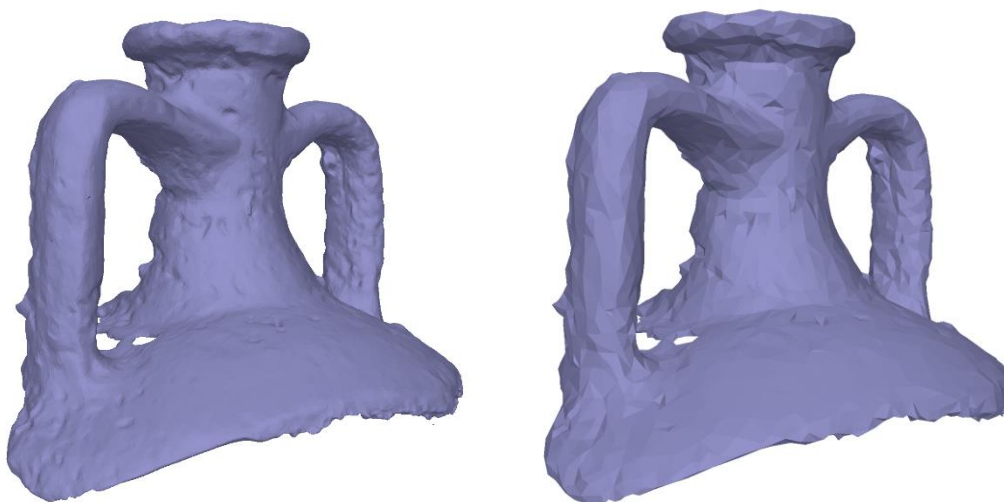
Obr. 6 – Husté mračno, oblouk

Následuje jeho očištění od šumu, případně odstranění nepotřebných částí. Dalším krokem je tvorba polygonové sítě. Polygonová síť je vytvořena propojením tří bodů z mračna, mezi kterými se vytvoří „povrch“. Hlavní a nejpodstatnější změnou při úpravě modelů pro VR je, že tvorba klasických 3D modelů pro dokumentaci obsahuje obvykle příliš mnoho polygonů. Čím chceme mít povrch kvalitnější, tím více polygonů model obsahuje. V obvyčejném grafickém programu není takový problém s dnešním hardwarem model obsahující například 10 mil. polygonů načíst, avšak pro zobrazení ve VR je tento model téměř nepoužitelný, nemluvě o kvalitě textury, které může být vygenerovaná jako např. 16K (16 384 x 16 384 pix.), kdy při prohlížení či pořizování videí v grafickém programu vypadá textura již dokonale. V herních enginech však dosavadní možná velikost textury je 8K (8192 x 8192 pix), díky tomu není možné větší modely potáhnout jednou texturou.

Zobrazování milionů polygonů není ve VR možné, je potřeba polygonový model decimovat a z milionů trojúhelníků vytvořit model, obsahující stovky tisíc trojúhelníků. U menších objektů, jako například u sloupů, kleneb, soch atd., postačí dokonce model, obsahující jen několik tisíc trojúhelníků. Obecně tedy mluvíme o High-polygonovém (Hi-poly) modelu a low-polygonovém (Low-poly modelu). Herní enginey umí dobře pracovat s low-poly modely, je tedy nutné rapidně zdecimovat modely. Kvalitu povrchu a detail povrchu nám v tuto chvíli přebírá místo polygonů textura. Na obrázku 7 je možné sledovat rozdíl mezi hi-poly modelem a low-poly modelem, je zde vidět 90% redukce polygonů, redukce je znát i ve velikosti souboru, zde mluvíme přibližně o 75-90% redukci.



Obr. 6 – polygonová síť



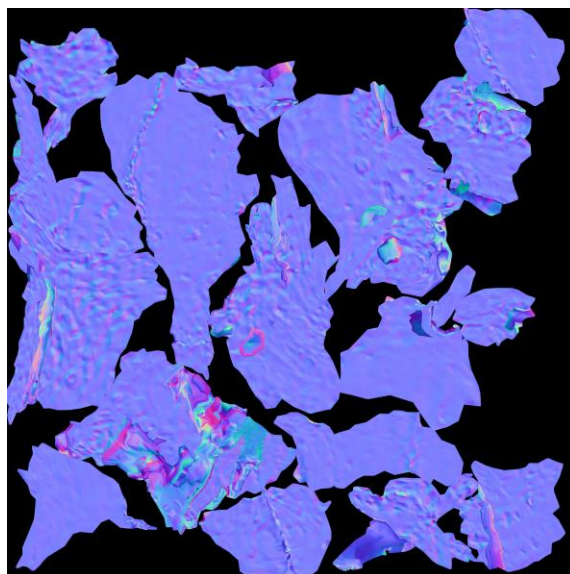
Obr. 7 – vlevo hi-poly model 100,000 polygonů, vpravo low-poly model 10,000 polygonů

Jak již bylo zmíněno, textury tedy v procesu tvorby 3D modelu pro VR hrajou důležitou roli v tvorbě povrchu. Existuje několik typů textur, které pro získání dokonalého detailu můžeme využít. Standardně se využívá difúzní textura (Diffuse texture), tato textura obsahuje RGB informace. Tato textura nám pouze obarví model, neobsahuje žádné jiné informace kromě jednotlivých barev pixelů.



Obr. 8 – Difúzní textura

Dalším běžně používaným typem textury je normálová mapa. Tato textura obsahuje informace o povrchu objektu. Vytváří se rozdílem mezi hi-poly modelem a low-poly modelem. Přenáší nám tedy kvalitu povrchu bez potřeby zobrazení milionů polygonů. Každý pixel této textury definuje normálový vektor.



Obr. 9 – Normálová textura

S difúzní texturou se tedy jedná o dvě nejdůležitější textury pro účel studie. Existují a využívají se i další textury, které se využívají například pro odrazivost objektu, pohlcování světla atd.

Jak je možné pozorovat na výše zobrazených obrázcích, zakódované informace v normálové mapě nám umožňují se zbavit milionových polygonových sítí, a přitom kvalitu povrchu zachovat.

Výše zmíněný postup se mění v závislosti na jeho velikosti, obsáhlejší komplexní modely (hrobky, kostely atd.) je zapotřebí rozřezat na menší části pro zachování kvality. Každé části se pak můžeme věnovat jednotlivě a kvalita textur a zobrazení tak neklesá. Tento postup je i vhodnější pro import do herního engine, kdy jednotlivé díly jsou importovány postupně a nehrozí tak problémy s načítáním velkého množství dat. Při úpravách jednotlivých částí modelu je nezbytné netransformovat objekt, je nezbytné zachovat jeho polohu, aby při následném importu byly všechny části pohromadě a na modelu tak nebylo poznat, že se jedná o několik pruhů/částí.





Obr. 10 – Výsledné porovnání modelů (vlevo model – 8k textura 100,000 polygonů, vpravo decimovaný model 4k textura, 10,000 polygonů).

Na obrázku 10 si můžeme všimnout, že mezi modelem, který obsahuje 100,000 polygonů a upraveným modelem, který má 10,000 polygonů a obsahuje normálovou texturu a difúzní, není viditelný rozdíl. Výsledkem je tedy dokonalý model, který neobsahuje žádný defekt po decimaci ani neztratil kvalitu.

Posledním krokem je **vizualizace objekt**. V této části se budeme věnovat importu upravených 3D modelů do virtuálního světa. Díky výše zmíněným technologiím a úpravám je nyní možné model vložit do VR pomocí herního enginu Unreal, který nám umožní vymodelovat virtuální prostředí. Jedním z dalších VR zkušebních projektů je i VR muzeum a kterému se budu dále věnovat primárně. První testovací verze VR muzea je již vytvořena, obsahuje 3 místnosti s exponáty. V současnosti muzeum obsahuje kolem 12 detailních modelů vytvořených zmíněným postupem.



Obr. – Budova VR muzea



Obr. – Model Sv. Václava uvnitř muzea



Obr. – Model zříceniny hradu v Anglickém Staffordu uvnitř muzea