

Univerzita Palackého v Olomouci

Přírodovědecká fakulta

Katedra geoinformatiky

**TESTOVÁNÍ PŘESNOSTI A VYUŽITELNOSTI
LOW-COST 3D SKENERŮ**

Bakalářská práce

Aneta HLUCHNÍKOVÁ

Vedoucí práce RNDr. Jan BRUS, Ph.D.

Olomouc 2016

Geoinformatika a geografie

ANOTACE

Práce se zabývá testováním přesnosti a využitelnosti low-cost 3D skenerů. Jejím hlavním cílem je otestování přesnosti a využitelnosti skenerů Kinect 360, Kinect One, Asus Xtion a Fuel3D Scanify. Dalším cílem práce je vytvoření doporučení pro dosažení nejlepších výsledků, s doporučením velikosti objektu, optimálním nastavením používaných softwarů a vhodných podmínek pro testování za použití uvedených skenerů.

Testování využitelnosti probíhalo na základě skenování nejrůznějších objektů. V této části bylo také zkoušeno optimální nastavení softwarových prostředků a nejlepší podmínky pro testování. Přesnost byla následně testována na pravidelném objektu oproti referenčnímu objektu v softwaru GOM Inspect. Další testování přesnosti probíhalo na základě srovnání výsledných 3D modelů plastických reliéfních map mezi jednotlivými skenery. Díky těmto výsledkům bylo zpracováno doporučení pro dosažení nejlepších výsledků skenování.

Výsledkem práce je postup skenování, zpracování dat ze skenerů a vytvoření následných 3D modelů vybraných objektů. Digitální podoba těchto 3D modelů je přiložena na nosiči DVD. Dalším výsledkem jsou výsledky přesnosti a využitelnosti skenerů, závěrečné doporučení a informační poster.

KLÍČOVÁ SLOVA

Kinect 360; Kinect One; Asus Xtion; Fuel Scanify; 3D skener

Počet stran práce: 52

Počet příloh: 14 (z toho 12 vázaných, 1 volná a 1 elektronická)

ANOTATION

This thesis deals with testing accuracy and usability of low-cost 3D scanners, specifically Kinect 360, Kinect One, Asus Xtion and Fuel3D Scanify. Beside this, Thesis brings recommendation to help to achieve the best possible results, which contains the recommendation of the size of the object, optimal settings and the best possible conditions for testing.

Testing of usability was based on scanning all kinds of objects. In this part of the thesis we also handled the optimal settings of the scanners and the best possible conditions for testing. Accuracy was then tested on even objects opposite to referential objects in the software GOM Inspect. Another testing of accuracy was provided on the basis of comparison of the resulting 3D models of plastic relief maps. Thanks to these results, the recommendation for the best settings was generated.

The outcome of this thesis is the process of scanning, processing of the data from scanning and creation of 3D models of the chosen objects. Digital copies of these models are available on the attached DVD. Another outcomes are the accuracy results and results of the usability of the scanners, the final recommendation and an informational poster.

KEYWORDS

Kinect 360; Kinect One; Asus Xtion; Fuel Scanify; 3D scanner

Number of pages: 52

Number of appendixes: 14

Prohlašuji, že

- bakalářskou práci včetně příloh, jsem vypracovala samostatně a uvedla jsem všechny použité podklady a literaturu.
- jsem si vědoma, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č.121/2000 Sb. - autorský zákon, zejména § 35 – využití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a využití díla školního a § 60 – školní dílo,
- beru na vědomí, že Univerzita Palackého v Olomouci (dále UP Olomouc) má právo nevýdělečně, ke své vnitřní potřebě, bakalářskou práci užívat (§ 35 odst. 3),
- souhlasím, aby jeden výtisk bakalářské práce byl uložen v Knihovně UP k prezenčnímu nahlédnutí,
- souhlasím, že údaje o mé bakalářské práci budou zveřejněny ve Studijním informačním systému UP,
- v případě zájmu UP Olomouc uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít výsledky a výstupy mé bakalářské práce v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona,
- použít výsledky a výstupy mé bakalářské práce nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem UP Olomouc, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly UP Olomouc na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).

V Olomouci dne

Aneta Hluchníková

podpis autora

Děkuji vedoucímu práce RNDr. Janu Brusovi, Ph.D. za podněty a připomínky při vypracování práce. Dále děkuji svému příteli Mgr. Janu Drastikovi, rodině a přátelům za podporu během celé doby mého studia. Také chci poděkovat dobrovolníkům, kteří byli ochotni se nechat naskenovat.

Za poskytnutá data a propůjčené skenery děkuji Katedře geoinformatiky, za cenné rady ohledně skenerů děkuji Radku Šimovi ze společnosti MCAE Systems.

UNIVERZITA PALACKÉHO V OLOMOUCI

Přírodovědecká fakulta

Akademický rok: 2014/2015

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Aneta HLUCHNÍKOVÁ**
Osobní číslo: **R13245**
Studijní program: **B1301 Geografie**
Studijní obor: **Geoinformatika a geografie**
Název tématu: **Testování přesnosti a využitelnosti low-cost 3D skenerů**
Zadávací katedra: **Katedra geoinformatiky**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Cílem bakalářské práce je testováním nízkonákladových 3D skenerů ověřit jejich přesnost a praktickou využitelnost. Studentka se v rešeršní části zaměří na možnosti využití těchto skenerů, formy testování a omezení. V praktické části bude primárně pracovat se skenery FUEL3D a ASUS Xtion. Výstupem práce bude návod pro dosažení nejlepších výsledků skenování. Tento návod bude obsahovat doporučení pro vhodnou velikost objektu, nastavení softwarových prostředků, vhodných podmínek pro skenování apod. Výsledky budou srovnány s referenčními daty.

Studentka vyplní údaje o všech datových sadách, které vytvořila nebo získala v rámci práce, do Metainformačního systému katedry geoinformatiky a současně vytvoří zálohu údajů ve formě validovaného XML souboru. Celá práce (text, přílohy, výstupy, zdrojová a vytvořená data, XML soubor) se odevzdá v digitální podobě na CD (DVD) a text práce s vybranými přílohami bude odevzdán ve dvou svázaných výtiscích na sekretariát katedry. O diplomové práci studentka vytvoří webovou stránku v souladu s pravidly dostupnými na stránkách katedry. Práce bude zpracována podle zásad dle Voženílek (2002) a závazné šablony pro diplomové práce na KGI.

Rozsah grafických prací: dle potřeby
Rozsah pracovní zprávy: max. 50 stran
Forma zpracování bakalářské práce: tištěná
Seznam odborné literatury:

- GALANTUCCI, L., E. PIPERI, F. LAVECCHIA AND A. ZHAVO
Semi-Automatic Low cost 3D Laser scanning systems for reverse engineering.
Procedia CIRP, 2015, 28, 94-99.
HERNANDEZ, M., J. CHOI AND G. MEDIONI. Laser scan quality 3-d face
modeling using a low-cost depth camera. In Signal Processing Conference
(EUSIPCO), 2012 Proceedings of the 20th European. IEEE, 2012, p. 1995-1999.
KERSTEN, T. P. AND M. LINDSTAEDT. Image-based low-cost systems for
automatic 3D recording and modelling of archaeological finds and objects. In
Progress in cultural heritage preservation. Springer, 2012, p. 1-10.
KHOSHDELHAM, K. Accuracy analysis of kinect depth data. In ISPRS
workshop laser scanning. 2011, vol. 38, p. W12.
ROCCHINI, C., P. CIGNONI, C. MONTANI, P. PINGI, et al. A low cost 3D
scanner based on structured light. In Computer Graphics Forum. Wiley Online
Library, 2001, vol. 20, p. 299-308.
STRAUB, J. AND S. KERLIN Development of a large, low-cost, instant 3d
scanner. Technologies, 2014, 2(2), 76-95.
STRAUB, J. AND S. KERLIN. A very low-cost 3D scanning system for
whole-body imaging. In SPIE Sensing Technology+ Applications. International
Society for Optics and Photonics, 2015, p. 94870X-94870X-94810.
VOŽENÍLEK, V. Diplomové práce z geoinformatiky. Olomouc: Vydavatelství
Univerzity Palackého, 2002.

Vedoucí bakalářské práce: RNDr. Jan Brus, Ph.D.
Katedra geoinformatiky

Datum zadání bakalářské práce: 15. června 2015
Termín odevzdání bakalářské práce: 10. května 2016

prof. RNDr. Ivo Frébort, CSc., Ph.D.
děkan

L.S.

UNIVERZITA PALACKÉHO V OLOMOUCI
PŘÍRODOVĚDECKÁ FAKULTA
KATEDRA GEOMINFORMATIKY
17. listopadu 50, 771 46 Olomouc

prof. RNDr. Vít Voženílek, CSc.
vedoucí katedry

V Olomouci dne 15. června 2015

OBSAH

ÚVOD	10
1 CÍLE PRÁCE	11
2 METODY A POSTUPY ZPRACOVÁNÍ	12
3 SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY	13
3.1 Definice skeneru a jeho využití.....	13
3.2 Princip 3D skenerů	13
3.2.1 Destruktivní metoda.....	13
3.2.2 Nedestruktivní metoda	14
3.2.3 Metoda triangulace.....	14
3.2.4 Metoda „Time of flight“	14
3.2.5 Metoda strukturovaného světla.....	14
3.3 Typy 3D skenerů	14
3.3.1 Kontaktní skenery	15
3.3.2 Bezkontaktní skenery	15
3.3.3 Mobilní skenery	16
3.3.4 Stacionární skenery	16
3.3.5 Laserové skenery	17
3.3.6 Mechanické skenery	18
3.3.7 Optické skenery	18
3.3.8 Rentgenové skenery	18
3.3.9 Ultrazvukové skenery	19
4 POPIS SKENERŮ	20
4.1 Microsoft Kinect 360	20
4.1.1 Technické parametry.....	20
4.1.2 Princip	20
4.1.3 Kinect pro Windows SDK.....	21
4.2 Microsoft Kinect One.....	21
4.2.1 Srovnání s Kinectem 360.....	21
4.2.2 Princip	22
4.2.3 Kinect pro Windows SDK 2.0	23
4.3 Asus Xtion.....	23
4.3.1 Technické parametry.....	23
4.3.2 Princip	24
4.3.3 OpenNI SDK	24
4.4 Fuel 3D Scanify	24
4.4.1 Technické parametry.....	25
4.4.2 Princip	25
5 ZÁKLADNÍ POPIS POUŽITÝCH SOFTWAREŮ	26
5.1 KScan3D	26
5.2 Scanect	29

5.3	Fuel3D Studio	32
6	SKENOVÁNÍ OBJEKTŮ	36
6.1	Globus	36
6.2	Obličej člověka.....	37
6.3	Dřevěná židle	39
6.4	Postava člověka	40
6.5	Pravidelná krabice	40
6.6	Plastická reliéfní mapa	41
7	TESTOVÁNÍ PŘESNOSTI	42
8	VÝSLEDKY	45
8.1	Globus	45
8.2	Obličej	46
8.3	Dřevěná židle	49
8.4	Postava člověka	51
8.5	Pravidelná krabice	52
8.6	Reliéfní plastické mapy	54
8.7	Přesnost	55
8.8	Využitelnost.....	56
8.9	Doporučení.....	57
9	DISKUZE	58
10	ZÁVĚR	60
	POUŽITÁ LITERATURA A INFORMAČNÍ ZDROJE	
	SEZNAM OBRÁZKŮ	
	SEZNAM TABULEK	
	PŘÍLOHY	

ÚVOD

Dvacet pět let uplynulo od té doby, co světu představili první 3D skener založený na triangulačních metodách, schopný zachytit trojrozměrný obraz s dostatečným rozlišením [Weidner, 2015]. Člověk a svět jde v technologii pořád dopředu, a co dnes vymyslí, je už zítra zastaralé. 3D skenery byly tedy před 25 lety na úplně jiné úrovni, než jsou ty dnešní. Ubírají se jiným směrem, mají větší využití a hlavně jsou technologicky úplně jiné.

V dnešní době existuje více typů 3D skenerů a mají obrovské využití. 3D skenování se od roku 2001 ubírá do dvou hlavních směrů. Prvním směrem je reverzní inženýrství, a druhým kontrola kvality. Ale i přesto jeho využití jen roste a můžeme je vidět v lékařství, archeologii, nebo také návrhářství.

Tato práce se bude věnovat hlavně cenově dostupnými skenery, které fungují na bezkontaktní metodě 3D digitalizace. V teoretické části se zabývá současným stavem řešené problematiky, kde objasňuje co je to vlastně skener, na jakém principu funguje, co je to digitalizace a na jaké metody tuto digitalizaci dělíme. Dále se zabývá rozdělením skenerů podle různých parametrů a základním popisem konkrétních skenerů, kterým je tato práce věnována.

V praktické části se pak práce věnuje konkrétním testování příslušných skenerů na nejrozličnějších objektech a zkoumá nastavení softwaru. Dále je zkoumána využitelnost a přesnost těchto nízkonákladových skenerů. Na základě výsledků přesnosti a využitelnosti je pak sepsáno krátké doporučení nejvhodnějších podmínek pro testování a optimálního nastavení. Výsledkem jsou pak 3D modely, nacházející v příloženém DVD.

1 CÍLE PRÁCE

Cílem této bakalářské práce je popsat využití nízkonákladových skenerů, jejich formy testování a omezení. V rámci textové části bude nastudována nejrozličnější literatura a webové zdroje pro vytvoření rešerše. V rešerši budou pro lepší pochopení problematiky popsány metody 3D skenování a rozdělení skenerů. Dále budou popsány samotné 3D skenery a softwary, které byly v rámci práce použity. Tyto softwary budou popsány formou jednoduchého návodu.

V praktické části je hlavním úkolem ověřit přesnost, praktickou využitelnost skenerů a zpracovat doporučení pro dosažení nejlepších výsledků. Toto doporučení by mělo obsahovat doporučení ohledně velikosti objektu, nejlepší vhodné nastavení softwarových prostředků a popsat nejlepší podmínky pro skenování. Pro porovnání přesnosti jsou zvoleny skenery Asus Xtion od firmy Asus, Kinect One a Kinect 360 od firmy Microsoft. Cílem práce je tedy vytvořit jakési doporučení určené především pro další studenty a členy katedry pracující s 3D skenery ve Vědeckotechnickém parku Univerzity Palackého v Olomouci.

2 METODY A POSTUPY ZPRACOVÁNÍ

Použité metody

Před samotným skenováním bylo potřeba vypracovat nějakou základní metodiku, v rámci které se bude následně testovat. Nejprve bylo nutné si objekty rozdělit podle velikostních skupin na malé, střední, velké a velmi velké objekty. Z každé této velikostní skupiny byly vybrány nějaké dva objekty, které se následně testovaly. Díky tomuto rozdělení bylo možné zjistit, které objekty se více hodí pro daný skener a jaké mají omezení ve skenování. Poté bylo potřeba testovat nejvhodnější podmínky pro testování. Jednalo se především o denní dobu a typ místnosti. Bylo odzkoušeno skenování za denního světla, za přímého slunce i za umělého osvětlení. Co se týče místnosti, byla odzkoušena místnost s malým prostorem kolem objektu, kde se nacházely i přebytečné objekty, dále prostorná místnost s denním světlem bez přebytečných objektů a prostorná místnost s umělým osvětlením. V rámci testování objektů probíhalo taktéž testování jednotlivých softwarů a jejich nejvhodnější nastavení. Konkrétně se jednalo o softwary KScan3D, Scanect a Fuel3D studio.

Použitá data

Pro vypracování bakalářské práce byly použity tyto předměty – zeměpisný globus, plastické mapy, nebo papírová krabice aj.

Ke skenování byly použity skenery od firem Microsoft, Asus, a Fuel3D. Konkrétně se jednalo o modely Microsoft Kinect pro Xbox 360 a Xbox One, Asus Xtion, a Scanify. Všechny tyto modely kromě Kinectu pro Xbox 360 byly zapůjčeny z katedry Geoinformatiky.

Použité programy

Pro skenování, následné vytvoření a úpravu 3D modelů byla použita free verze programu Scanect, KScan3D 1.2 pro 64 bitový počítač a 30 denní verze Fuel3D Studio 2.0 Advanced. SketchUp 2016 byl použit pro tvorbu modelu skenovaného objektu (krabice), který byl následně porovnán s naskenovanými 3D modely. Pro porovnání přesnosti mezi skenery na objektu krabice byl použit software GOM Inspect V8 SR1. Při výrobě popisných obrázků byl použit Corel Draw X7 a pro vypracování posteru byla použita webová aplikace Lucidpress. Pro zpracování prezentací k bakalářským dnům nebo k obhajobě pro sepsání práce byl použit balíček Office. Práce byla následně exportována do formátu PDF. Pro zpracování webových stránek byl použit PSPad Editor.

Postup zpracování

Prvním krokem této práce bylo načtení literatury a vypracování následné rešerše. Dále bylo nutné zajistit objekty ke skenování. V říjnu proběhlo zaškolení se skenerem Scanify od firmy Fuel3D. Od října do ledna byly skenovány menší a střední předměty, aby se následně předešlo problémům. V tomto období se přišlo na řadu omezení skenerů, co se týče povrchu objektu, nebo rozměrových vlastností objektů. Toto skenování bylo také nutné pro stanovení nejvhodnějších podmínek pro skenování. Dalším důvodem bylo naučit se nastavovat funkce jednotlivých programů pro následné zpracování 3D modelů. Ve zkušebním období se tvořila struktura pro webové stránky. V únoru a březnu byly skenovány objekty, u kterých byla zjišťována přesnost skenování jednotlivých skenerů. Jednalo se konkrétně o plastické reliéfní mapy a papírovou krabici. Přesnost byla následně vyhodnocena v softwaru GOM Inspect.

3 SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY

3.1 Definice skeneru a jeho využití

Skener je hardwarové vstupní zařízení, které snímá 2D nebo 3D objekty a které slouží pro převod z fyzické podoby do podoby digitální. Skenery je možné rozdělit podle typu skenovaného objektu na 2D a 3D skenery. 2D skenery snímají ve dvou osách x a y, 3D skenery ve třech osách x, y a z [Gratza, 2015]. Následující text se bude zabývat hlavně 3D skenery.

Využití 3D skenerů je v dnešní době opravdu obrovské. Využívají se nejen ve zdravotnictví nebo průmyslu, ale také v archeologii, módním návrhářství, počítačovém průmyslu, designu, geoinformatických informačních systémech nebo kriminalistice.

Co se týče těch nejzajímavějších příkladů, můžeme zmínit například použití v ortopedii při výrobě protézy. Dochází k naskenování části lidského těla, aby protéza byla co nejvíce přesná a málo bolestivá. Ze zdravotnictví lze pak ještě jmenovat plastickou chirurgii nebo posttraumatickou péči, kdy je nutné vymodelovat například model obličeje popáleného člověka [Skenování ve 3D, 2016c].

V archeologii je nejnovějším trendem skenování nejrůznějších starých artefaktů. Časem se malby, sochy, kosti a podobně poškozují a 3D skenování je nejlepší způsob, jak tyto historické věci zachovat. Následně vznikají virtuální muzea, nebo se 3D model může použít při restaurátorských pracích [Skenování ve 3D, 2016a].

Největší využití má 3D skener v průmyslu a to konkrétně v reverzním inženýrství. Lze vytvořit plnohodnotnou kopii výrobku, a to jak z papírového výkresu, tak z 3D podoby, kdy papírový výkres třeba už neexistuje. Dalším využitím je kontrola kvality výrobků, která se díky 3D skenování stává více efektivní a sníží náklady. Velké využití má i v automobilovém průmyslu [Skenování ve 3D, 2016b].

V dnešní době je populární nakupovat na internetu, což se může prostřednictvím 3D skeneru výrazně urychlit. Je možné naskenovat tělo a jeho míry automaticky porovnat s velikostí oblečení. I policistům pomáhají skenery při naskenování místa činu a následné rekonstrukci zločinu. To samé pak využívají pojišťovny při autonehodách. Co se týče počítačové technologie, mají skenery největší uplatnění v grafice a tvorbě her nebo speciálních efektů ve filmografii.

3.2 Princip 3D skenerů

3D skenery fungují na principu digitalizace. Digitalizace je převod analogového signálu na signál digitální. Výstupem je tzv. mračno bodů. To představuje soubor zaměřených bodů na povrchu snímaného objektu [Gratza, 2015].

Rozlišují se dvě metody digitalizace – 2D a 3D. 2D digitalizace je převod 3D scény na digitální rastrový 2D obraz. 3D digitalizace je převod 3D scény do digitálního 3D modelu. Tuto digitalizaci je možné ještě rozdělit na kontaktní a bezkontaktní metody. Podle těchto metod pak získáváme informace o snímaném povrchu.

3.2.1 Destruktivní metoda

Destruktivní metoda patří mezi kontaktní metody, při které dochází ke styku skeneru se skenovaným objektem. Díky této metodě dochází ke zničení objektu. Princip tohoto přístupu je v zalití objektu hmotou, která vyplní pukliny a dutiny. Poté je objekt po malých vrstvách frézován a skenován současně. Nejčastěji se používá pro zjištění objemu těla u složitých tvarů [Gratza, 2015].

3.2.2 Nedestruktivní metoda

Nedestruktivní metoda také patří mezi kontaktní metody, avšak nedochází k absolutnímu zničení předmětu. Skener se dotýká předmětu pouze svými mechanickými rameny, na jejichž konci jsou sondy nebo senzorové hroty. Těmito hroty se pohybuje po tělese a vytváří křivky, které se exportují do počítače.

3.2.3 Metoda triangulace

Metoda triangulace patří mezi bezkontaktní metody, kdy nedochází k přímému kontaktu s objektem skenování. Princip je založený na vyzařování laserového paprsku směrem k objektu skenování, kde dochází k odrazu a tento odraz zachytí kamera skeneru. Dopadá tedy zpět pod jiným úhlem. Na základě známé vzdálenosti zářiče, kamery, úhlu, který mezi sebou svírají a rozdílného úhlu dopadu paprsku, se vypočítá vzdálenost skeneru od objektu.

3.2.4 Metoda „Time of flight“

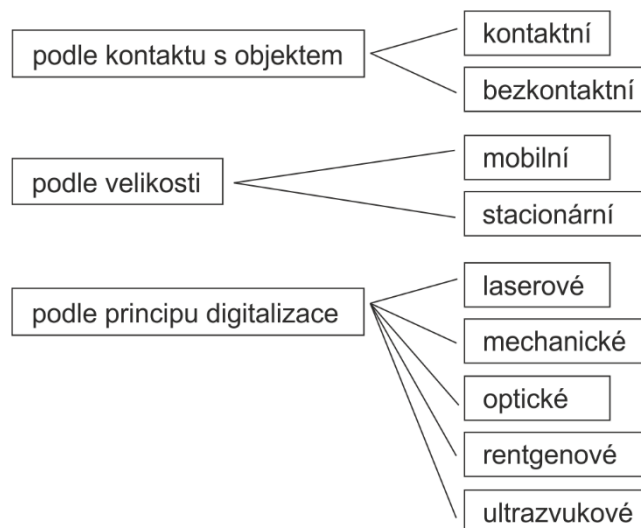
Metoda „Time of flight“ patří také mezi bezkontaktní metody, kdy se na základě známé rychlosti světla (299 792 458 m/s) a změřené doby letu paprsku k objektu a zpět vypočítá vzdálenost od objektu ke skeneru. Podle této vzdálenosti se pak vypočítá povrch objektu a vykreslí se 3D model.

3.2.5 Metoda strukturovaného světla

Principem metody strukturovaného světla je světelný vzor (nejčastěji ve tvaru mřížky), který se promítá na skenovaný objekt. Na objektu se tento vzor zdeformuje a tuto deformaci zachycuje kamera. Vzor promítaný a vzor deformovaný jsou pak srovnány a poté se vytvoří mračno bodů.

3.3 Typy 3D skenerů

3D skenery můžeme rozdělit podle několika kritérií (Obr. 1). Prvním z kritérií je způsob kontaktu s objektem, kde rozlišujeme kontaktní a bezkontaktní skenery. Další dělení je podle velikosti nebo mobility skenerů na mobilní a stacionární skenery. Posledním dělení skenerů je na základě principu digitalizace. Rozlišují se laserové, mechanické, optické, rentgenové a ultrazvukové skenery.



Obr. 1 Schéma rozdělení typů skenerů (zdroj: autor).

3.3.1 Kontaktní skenery

Většinou se kontaktním skenerům říká digitizéry. U těchto typů je nutný kontakt se snímaným objektem, respektive jeho povrchem. Povrchu objektu se dotýkají nejčastěji ramena skeneru, které mají na konci speciální sondy. Velkou výhodou u těchto digitizérů je možnost skenovat větší a složitější tvary s mnoha špatně přístupnými místy. Nevýhodou je časová náročnost, možnost poškození povrchu objektu a problém s více drsnými povrchy. K digitalizaci se používá destruktivní nebo nedestruktivní metoda. Mezi kontaktní skenery patří například MicroScribe od firmy Immersion Corporation (Obr. 2).



Obr. 2 Kontaktní skener MicroScribe (zdroj: <http://www.picasoft.com/>).

3.3.2 Bezkontaktní skenery

Těmto bezkontaktním skenerům se oprávněně říká skenery, jelikož nepotřebují přímý kontakt s povrchem snímaného objektu. Nejčastěji jsou to skenery, které fungují na laserovém nebo optickém principu [Navrátil, 2000]. Výhodou oproti kontaktním digitizérům je absence kontaktu s povrchem a menší časová náročnost. Co se týče digitalizace, používá se metoda triangulace, „Time of flight“ nebo technika strukturovaného světla [Gratza, 2015]. Za bezkontaktní skener je považován Artec EVA (Obr. 3).



Obr. 3 Bezkontaktní skener Artec EVA (zdroj: <http://www.cncroboticsza.com/>).

3.3.3 Mobilní skenery

Mobilní skenery jsou takové skenery, které se bez problému dají převést autem [Šnajdárek, 2008]. Jsou to skenery menších velikostních a hmotnostních rozměrů. Největší výhodou těchto zařízení je možnost snímání těžkých a objemných objektů, které se nedají jednoduše přemísťovat. Příkladem může být HandyScan od společnosti Creaform (Obr. 4).



Obr. 4 Mobilní ruční skener HandyScan (zdroj: <http://www.creaform3d.com/>).

3.3.4 Stacionární skenery

Stacionární skenery jsou skenery, které nelze přemísťovat. To znamená, že jsou většinou větších velikostních a hmotnostních rozměrů. Největší nevýhodou je fakt, že se objekty musí dopravit ke skeneru. Tím pádem není možné snímat nepřemístitelné objekty. Tyto skenery mají většinou skenovací plochu, na kterou je objekt umístěn. To znamená, že je omezení ve velikosti objektu, jelikož je omezena skenovací plocha. Příkladem takového skeneru jsou skenery firmy RangeVision (Obr. 5).



Obr. 5 Stacionární skener od firmy RangeVision (zdroj: <http://rangevision.com/>).

3.3.5 Laserové skenery

Laserové skenery fungují na základě vyslaného laserového paprsku z infračerveného zářiče směrem k objektu. Paprsek se odrazí od povrchu objektu a vrátí se zpět k senzoru infračervených vln. Ten vyhodnotí čas, za který paprsek vykoná cestu k objektu a zpět k senzoru. Dále vyhodnotí zakřivení odraženého paprsku, který zjistí z úhlu zakřivení. Díky tomu získá informace o velikosti předmětu, jeho polohu a vzdálenost od skeneru. Tyto informace pak pošle do počítače. Ty jsou zpracovávány dvojím způsobem – triangulací nebo metodou „Time of flight“.

Výhodou těchto skenerů je možnost skenovat nejrozličnější prohlubně, které optické ani mechanické skenery tak dobře nezachytí a především vysoká přesnost a nenáročnost [Navrátil, 2000]. Nevýhodou je vysoká pořizovací cena a problém se skenováním lesklých povrchů. Pokud skenery nemají navíc RGB kameru, nemohou zachytit texturu objektu. Příkladem laserového skeneru je skener Freestyle 3D Scanner od firmy FARO (Obr. 6).



Obr. 6 Laserový skener Freestyle 3D (zdroj: <http://blog.faro.com/>).

3.3.6 Mechanické skenery

Mechanické skenery jsou založeny na kontaktu skeneru s objektem. Skener tvoří mechanické rameno, které má na konci sondu nebo hrot. Hrot se pak musí dotýkat nejvýraznějších bodů na objektu. Co se týče počtu bodů, tak ten je závislý na tom, jaká je potřebná přesnost modelu. Výsledkem je mračno bodů, které obsahuje informace o souřadnicích x , y a z [Skoupý, 2007].

Výhodou je nízká pořizovací cena. Nevýhodou časová náročnost, žádná informace o textuře a malá přesnost. Příkladem takového skeneru je již zmiňovaný MicroScribe od firmy Immersion Corporation.

3.3.7 Optické skenery

Optické skenery fungují na principu 2D fotografie, která je zachycena kamerou. U tohoto principu je nutné mít snímky z více stran objektu a je potřeba, aby se snímky překrývaly. Každý snímek bude tedy zachycovat objekt z jiného úhlu. Proto je důležité objekt natáčet, což je možné díky polohovacímu zařízení s motorem nebo ručním posouváním. Důležité je, aby pozadí za objektem bylo jedné barvy a pokud možno kontrastní, aby se zabránilo nerozeznání objektu od pozadí. Další podmínkou je nutnost terčů nebo kalibrační tyče, které pomáhají v centrování. Všechny fotografie objektu jsou pak přeneseny do počítače. Pro vznik 3D modelu je následně použita aproximace.

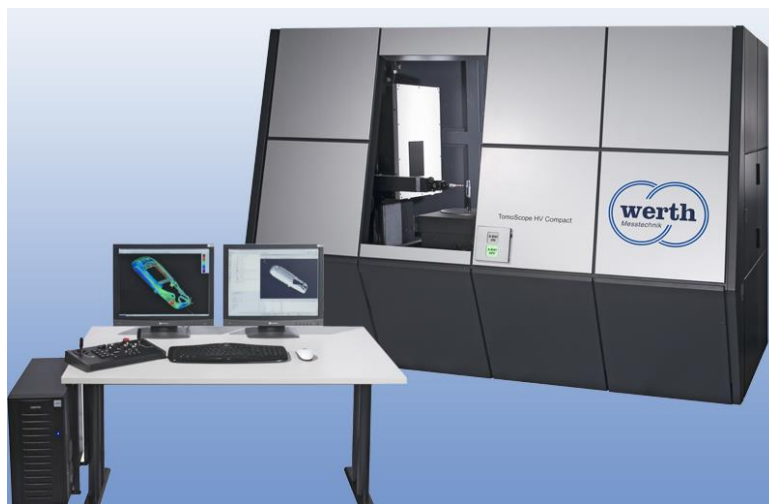
Optické skenery mají výhodu, že fotografie rovnou zachytí i texturu snímaného objektu a navíc je jejich ovládání většinou velmi jednoduché a velmi přesné. Za další výhodu lze považovat i vlastní nasvícení v podobě blesku, kterým některé optické skenery disponují. Naopak zápornou stránkou je problém s lesklým povrchem jako v případě laserových skenerů a se členitými povrchy objektu. Tento typ skeneru totiž neumí skenovat vnitřní dutiny. Mezi optické skenery můžeme zařadit například Fuel Scanify nebo ATOS Triple Scan od firmy GOM (Obr. 7).



Obr. 7 Optický skener ATOS Triple Scan (zdroj: <http://www.r-design.hu/>).

3.3.8 Rentgenové skenery

Rentgenové skenery pro skenování používají rentgenové záření. Rentgenové záření je pak elektromagnetické záření o vlnové délce deset nanometrů až jeden pikometr [Navrátil, 2000]. Patří mezi nedestruktivní bezkontaktní metody a získává informace hlavně o vnitřní geometrii. Proto se také nejčastěji používají v lékařství. Dále se využívají ke skenování složitějších objektů, které jsou uzavřené, například potrubí v průmyslu. Slouží tedy spíše k měření. Výhodou je pak jejich přenositelnost. Příkladem může být TomoScope od společnosti Werth (Obr. 8).



Obr. 8 Rentgenový skener TomoScope (zdroj: <http://2.bp.blogspot.com/>).

3.3.9 Ultrazvukové skenery

Ultrazvukové skenery pracují s využitím ultrazvukového signálu. Součástí skeneru je ruční sonda tvaru pistole, která má na konci hrot. Ten se namíří na objekt a stisknutím se vyšle ultrazvukový signál. Ten se zachytí speciální konstrukcí a je následně přeformován do prostorových souřadnic [Gratza, 2015]. Největším kladem je pak nejnižší pořizovací cena z vyjmenovaných skenerů. Záporům je velmi nízká přesnost. Proto se tyto skenery uplatňují spíše ve zdravotnictví, filmech a reklamách. Příkladem takového ultrazvukového skeneru je SonixEmrace od výrobce Ultrasonix Medical Corporation používající se ve zdravotnictví (Obr. 9).



Obr. 9 Ultrazvukový skener SonixEmrace (zdroj: <http://www.medata.cz/>).

4 POPIS SKENERŮ

4.1 Microsoft Kinect 360

Kinect je přídatný ovladač k herní konzoli Xbox 360, vyvinutý společností Microsoft [Vinkler, 2012]. Xbox 360 byl vydán už v roce 2005, zatímco přídatný Kinect až v roce 2010. Díky Kinectu může uživatel ovládat Xbox 360 jen za pomoci gest, hlasových příkazů nebo pohybu. Uživatel už tedy nepotřebuje herní ovladač.

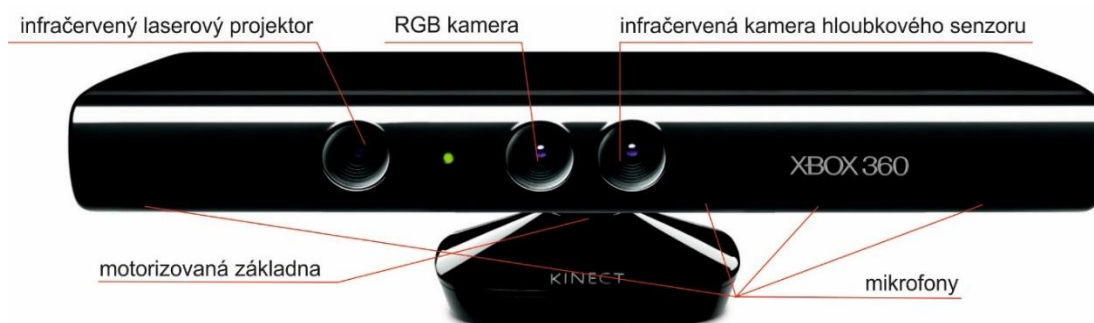
4.1.1 Technické parametry

Kinect 360 je vybavený RGB kamerou, infračervenou kamerou s hloubkovým senzorem, infračerveným laserovým projektorem, motorizovanou základnou a multitudálním mikrofonom. To umožňuje 3D zachycení celého těla, rozpoznání obličeje a hlasu.

RGB kamera má VGA rozlišení 640×480 a je schopná snímat s frekvencí 30 snímků za sekundu a má 24-bitovou barevnou hloubku [Vinkler, 2012]. Při vyšším rozlišení 1280×960 snímá s menší frekvencí 15 snímků za sekundu a 16 bitové barevné hloubce.

Hloubkový senzor se skládá z infračerveného snímače záření a laserového zdroje infračerveného záření. Infračervená kamera snímá infračervené záření o vlnové délce 830 mm v rozlišení 640×480. Laser je pak zdrojem infračerveného záření o stejné vlnové délce. Zorný úhel senzoru je pak 57° horizontálně a 43° vertikálně.

Čtyři mikrofony pro zachycení hlasových příkazů jsou pak umístěny ve spodní části Kinectu, jak lze vidět na Obr. 10. Tři jsou tedy na pravé straně Kinectu a jeden na levé. Toto umístění je optimální pro rozpoznání směru zvuku a určení tvaru a rozměru. Mikrofon je také schopný eliminovat šum.



Obr. 10 Popis Microsoft Kinectu 360 (zdroj: upraveno z <https://i.kinja-img.com/>).

Poslední součástí Kinectu je mechanický pohon v základně senzoru, který naklání snímač nahoru nebo dolů, a to až o 27°. To umožňuje kompenzovat rozdíly ve výšce a zajistit tak, aby byl uživatel vždy v zorném poli kamery [Vinkler, 2012].

Aby ale bylo možné mechanicky pohybovat senzorem, je potřebná energie, která se dodá napájecím adaptérem, který je součástí Kinectu 360.

4.1.2 Princip

Kinect pracuje na principu strukturovaného světla. To znamená, že je bezkontaktní a pracuje ve velmi vysokém rozlišení. Infračervený laserový projektor vysílá infračervené paprsky na objekt, který chce nasnímat. Vytváří na něm jakýsi vzor, a to konkrétně

uspořádané body. Díky odrazu se tyto uspořádané body deformují a tuto deformaci nasnímá infračervená kamera. Senzor, je jak vidět na předchozím obrázku, je posunutý oproti projektoru. Díky této vzdálenosti, kterou zná, je možné vypočítat vzdálenost mezi Kinectem a snímaným objektem pomocí stereo triangulace, kde se porovnají rozdíly mezi promítaným a deformovaným vzorem. O zpracování těchto údajů se stará čip od izraelské společnosti PrimeSense, s kterým Microsoft spolupracuje. Ten vytvoří trojrozměrný snímek s informacemi o hloubce, který se pomocí USB kabelu předá do počítače [Tesař, 2011].

Aby ale bylo možné propojit počítač s Kinectem, je zapotřebí nainstalovat Kinect pro Windows SDK.

4.1.3 Kinect pro Windows SDK

Když Microsoft vyvinul Kinect pro Xbox, začali na něj tlačit uživatelé, aby Microsoft vytvořil ovladače a vývojové nástroje. Jelikož Microsoft odmítal zveřejnit zdrojové kódy, udělala společnost Adafruit Industries soutěž o peněžní odměnu v hodnotě 2000 dolarů. Když je Microsoft chtěl zažalovat, zvýšila se odměna na 3000 dolarů. Ještě v den uvedení Kinectu na trh, a to o necelé 4 hodiny později, zveřejnil Héctor Martín Cantero knihovnu libfreenect [Hagara, 2011]. Po zveřejnění této knihovny vznikl projekt OpenKinect. A asi o deset dní později Microsoft změnil strategii a oznámil, že Kinect nebyl chráněn úmyslně, a že jsou nadšení tím, kam se využití Kinectu ubírá. Proto o půl roku později vznikl Kinect pro Windows SDK vytvořený Microsoftem, dostupný pro operační systém Windows.

Kinect pro Windows SDK podporuje tvorbu softwaru v jazycích C#, C++ a VisualBasic. Jeho instalace je nenáročná a společně s ním se nainstalují i ovladače pro Kinect.

4.2 Microsoft Kinect One

Kinect One je přídatný ovladač k osmé generaci herní konzole Xbox One, vyvinutý společností Microsoft. Jeho předchůdcem je Xbox 360. Stejně jako u Xboxu 360 může uživatel díky Kinectu ovládat Xbox jen za pomoci gest, hlasových příkazů nebo pohybu, bez potřeby herního ovladače. Také se mu říká Kinect 2. Kinect byl poprvé vydán 22. listopadu 2013.

4.2.1 Srovnání s Kinectem 360

Stejně jako Kinect pro Xbox 360 má i Kinect pro Xbox One RGB kameru, infračervenou kameru, laserový infračervený zářič a systém mikrofونů. Rozměrově se Kinect 2 zmenšil na délku, šířku i výšku. Rozměry nového Kinectu jsou 24,9 cm, 6,6 cm a 6,7 cm (délka, šířka, výška), zatímco původní rozměry byly 27,9 cm, 7,6 cm a 7,6 cm (Obr. 11).



Obr. 11 Porovnání velikostí Kinectu 360 a Kinectu One (zdroj: <http://i.imgur.com/>).

Porovná-li se RGB kamery, Kinect One si polepšil o rozlišení Full HD (1920×1080). Snímá 30 snímků za sekundu stejně jako předchozí verze. Výhodou je snímání i za špatného světla, tedy za tmy. Co se týče rozpětí vzdálenosti od Kinectu, je stejné jako u předchůdce (0,8–4 metry).

Infračervená kamera, stejně jako laserový infračervený vysílač, zvýšili rozlišení, a to na 512×424 z 320×240 [Javůrek, 2013]. Barevná hloubka je 16 bitů. Laserový infračervený vysílač má pak 11 bitovou barevnou hloubku. Oba umí pracovat i za špatného nebo žádného světla.

Co se týče mikrofونů, ty zůstaly téměř stejné. Kinect 2 má čtyři mikrofony o 48 KHz. Mikrofony jsou zapnuté 24 hodin denně, aby mohly rozpoznat hlasový příkaz.

Výrazně si Kinect 2 zvětšil horizontální a vertikální zorný úhel. A to horizontálně z 57,5° na 70° a vertikálně z 43,5° na 60°. Díky tomu rozezná objekty až třikrát menší než jeho předchůdce Kinect 360 [Javůrek, 2013]. Proto je schopný zachytit až 6 osob, a rozlišuje hned několik věcí, např. tepovou frekvenci, jestli má člověk brýle, jestli má/nemá otevřenou pusku, otevřené/zavřené levé/pravé oko apod. [Javůrek, 2013].

Další změnou je absence motoru v držáku. Kinect 1 obsahoval vertikální motor, který umožňoval pohybovat s ovladačem, aby uživatel byl vždy v zorném úhlu.

Pro připojení používá Kinect 2 USB 3.0, které umožňuje desetkrát rychlejší širokopásmový přenos dat. Rychlejší je i zpracování dat v Kinectu – za 2 sekundy zpracuje 2 gigabajty [Szymczyk, 2015].

4.2.2 Princip

Kinect 2 pracuje na principu „Time of Flight“. Je to bezkontaktní metoda, kterou se na snímáný objekt vysílají paprsky o určité vlnové délce o známé rychlosti. Ty se pak od objektu odrazí s určitou intenzitou zpátky ke snímači, který tuto intenzitu zhodnotí a vypočte souřadnice nasnímaného objektu. Díky změřenému času umí skener vypočítat, jak je snímáný objekt daleko od skeneru. Vzdálenost se vypočítá pomocí jednoduchého vzorce:

$$d = \frac{c * \Delta t}{2}$$

Vysvětlivky:

d ... vzdálenost (m)

c ... rychlost světla (299 792 458 m/s)

Δt ... doba letu (min)

Protože paprsek vykonává cestu od skeneru k objektu a zase zpět, je ve jmenovateli dvojka.

4.2.3 Kinect pro Windows SDK 2.0

Stejně jako u Kinectu 360 je potřeba pro práci s Kinectem One nainstalovat si Kinect pro Windows SDK 2.0. Tato verze 2.0 je přímo určená pro Kinect One, není proto kompatibilní s předchozím Kinectem. Díky tomu je možné Kinect využít pro komerční využití bez zaplacení jakékoliv licence. Co se týče systémových požadavků, podporuje pouze operační systém Windows 8.0 a vyšší s 64 bitovým procesorem [Kinect for Windows SDK 2.0, Microsoft, 2016]. A stejně jako předchozí verze podporuje jazyky C++, C#, Visual Basic nebo jakýkoli jiný .NET jazyk [Kinect tools and resources, Microsoft, 2016]. Tato verze vyšla 21. října 2014 [What's New, Microsoft 2016].

4.3 Asus Xtion

Asus Xtion je pohybové ovládání pro počítač od firmy Asus (Obr. 12). Zajímavostí je, že pochází ze stejné dílny jako Kinect a dokonce na něm spolupracovala i stejná firma – PrimeSense. Důvodem vzniku byl vlastně Kinect 360, jelikož Microsoft nechtěl rozšířit možnosti jeho použití a tím pádem ho propojit s počítačem. Proto vznikla alternativa Asus Xtion. Poprvé byl představen v roce 2011.



Obr. 12 Asus Xtion od společnosti Asus (zdroj: <http://img-2.gizmag.com/>).

4.3.1 Technické parametry

Největší viditelný rozdíl oproti Kinectu 360 a Kinectu One je absence RGB kamery, což je největší nevýhodou. Dále Xtion také neobsahuje motorizovaný motor pro pohyb senzorem a směrové mikrofony [Bros, 2013]. Obsahuje tedy pouze infračervený vysílač a snímač. Rozlišení Xtionu je 640×480 a pořídí 30 snímků za sekundu [Xtion Pro, Asus, 2015].

Vzdálenost objektu od senzoru se pohybuje v rozmezí 0,8–3,5 metru. Ačkoliv ho omezuje absence motoru, jeho zorné pole je 58° horizontálně, 45° vertikálně a 70° diagonálně [Xtion Pro, Asus, 2015]. Konstrukčně je tedy velmi podobný Kinectu.

Výhodou je, že Asus Xtion běží ve více operačních systémech a není tedy vázán pouze na Microsoft. Díky tomu má větší množství uživatelů. Asus stejně jako Kinect 360 používá USB 2.0 a jako bonus nepotřebuje zvláštní napájení, což je další z výhod. Co se také dá

brát jako výhoda, je nižší hmotnost a menší velikost senzoru. Nevýhodou je pak chybějící podpora hlasového ovládání nebo kratší USB kabel [Janás, 2012].

Jelikož Xtion velmi omezuje nepřítomnost RGB kamery, vznikla i další verze Xtion Pro Live, u které senzor obsahuje nejen RGB kameru, ale také mikrofony pro zachycení hlasového povelu. Navíc podporuje už i USB 3.0.

4.3.2 Princip

Asus Xtion má stejný princip jako Kinect. Díky promítání laserových paprsků na snímáný objekt se laserová síť na objektu deformuje a tuto deformaci nasnímá infračervená kamera. Pomocí stereo triangulace se pak spočítají rozdíly mezi promítaným a nasnímaným vzorem. Po zpracování údajů se pomocí kabelu USB údaje předají do počítače a vzniká 3D objekt.

4.3.3 OpenNI SDK

OpenNI SDK je volně dostupná a širitelná softwarová struktura (Framework), její základní funkcí je umožnit podporu při programování a vývoji softwarů [Framework, Wikipedia, 2001]. Obsahuje například knihovnu API, která poskytuje podporu pro hlasový příkaz, gesto rukou a sledování pohybu těla. Dále obsahuje software, který umožňuje propojit komponenty a aplikace, zajišťuje tedy přenos dat [Middleware, Management Media, 2012]. OpenNI vytvořila firma PrimeSense, která také spolupracovala na vytvoření návrhu open source ovladače pro Kinect s názvem NITE. Později tato firma oznámila spolupráci s firmou Asus na skeneru pod názvem Wavi Xtion, který se značně podobal Kinectu.

4.4 Fuel 3D Scanify

Scanify je ruční skener od společnosti Fuel3D (Obr. 13), který získal cenu za inovativní produkt na veletrhu spotřební elektroniky CES 2015 [Pagáč, 2015]. V roce 2005 se dva přednášející Ron Daniel a James Patterson z Oxfordské Univerzity rozhodli vytvořit patent na skener, který by měl pomoci v lékařském odvětví. O rok později tedy vznikla firma Fuel3D Inc. Vytvořila několik prototypů, které jsou používány v několika národních klinikách ve Velké Británii. V březnu 2013 pak vznikl ruční skener Fuel3D, který je používán i mimo lékařské odvětví. Je také součástí Kickstarter projektu. Později byl přejmenován na Scanify a poprvé byl společnosti představen v roce 2014. V České republice je oficiálním prodejcem společnost MCAE.



Obr. 13 Fuel3D Scanify od společnosti Fuel (zdroj: <https://www.fuel-3d.com/>).

4.4.1 Technické parametry

Scanify je zvláštní už jen tím, že má přední i zadní stranu. Na přední straně se nachází 3 blesky a dva senzory. Na zadní straně jsou LED indikátory, které informují, kdy je skener připravený skenovat. Na spodní straně skeneru je port pro USB konektor, napájecí kabel, port pro multi konektor a šroub pro držák stativu.

Scanify jako jediný obsahuje 3 xenonové LED blesky, které napomáhají osvětlit předmět těsně před tím, než ho skener naskenuje. Blesky jsou tři, aby bylo možné dobře nasvítit daný objekt z různých úhlů, proto jsou na skeneru různě rozmístěny.

Dále obsahuje dvě 3,5 megapixelové kamery, které umožňují objekt naskenovat ve 3D. K tomu, aby skener rozeznal objekty a dodržela se vzdálenost (35–45 cm) od objektu, slouží malé terčíky, které jsou součástí balení.

Nejdůležitější komponentou jsou tlačítka spouště. Scanify má dvě tlačítka umístěna na horní části ručního držáku. Pro skenování musí být zmáčknuto alespoň jedno z nich.

Co se týče LED indikátorů na zadní straně, každý z nich má svoji funkci. Pravý ukazuje, kdy je skener zapnutý a napájí se elektrickou energií. Levý se rozsvítí, pokud je nalezen hledáček. Dolní a horní dioda ukazuje, zda je moc blízko nebo daleko od předmětu. To znamená, že pokud je moc blízko, rozsvítí se dolní dioda a musí se oddálit. Pokud se rozsvítí horní dioda, je moc daleko, a musí se přiblížit. Pokud se rozsvítí všechny diody, je skener připravený ke skenování [User Manual, Fuel3D 2015].

4.4.2 Princip

Zařízení funguje na principu „namiř a vyfoť“. Díky dvěma kamerám, které Scanify má, vytvoří 2D fotografie, které se následně zpracovávají v počítačovém prostředí.

Scanify využívá řadu technologií pro zpracování obrazu. Jedna z nich je více snímková fotogrammetrie. Ta vyžaduje alespoň dva snímky, které se překrývají, a je na nich objekt skenování. Díky známým snímkovým souřadnicím ze všech snímků je možné vypočítat polohu 3D souřadnic snímaného objektu. Snímkové souřadnice jsou zaznamenány díky terčíku, který musíme přiložit k objektu.

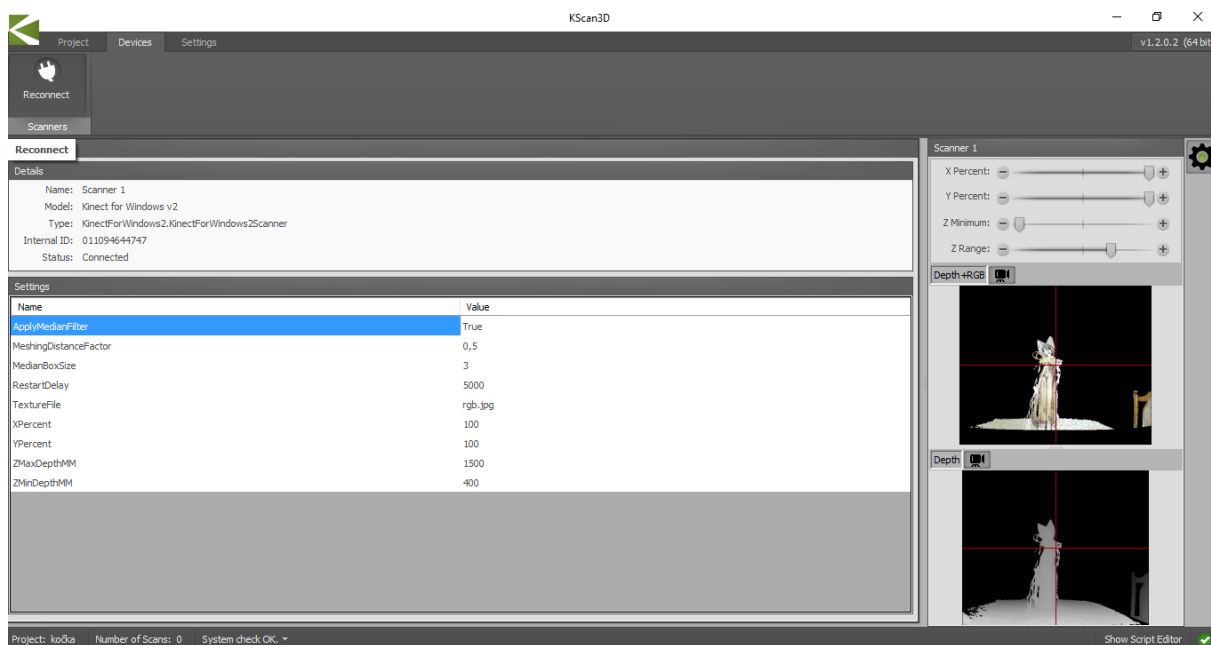
Druhou technologií je pak stereofotogrammetrie. Ta používá tzv. stereoskopický vjem, což je pohled na jeden objekt z dvou úhlů. To zajišťují dvě různě položené kamery. Díky pohledu z dvou různých úhlů je pak vyvolán 3D obraz. Lehce se to dá vysvětlit na očích člověka. Pokud se člověk dívá na předmět s jedním zakrytým okem, uvidí objekt z nějakého úhlu x. To samé se děje u zakrytého druhého oka, pouze objekt uvidí z úhlu y. Naopak pokud se člověk podívá na předmět oběma očima, mozek si spojí oba rozdílné úhly x a y dohromady a tím se vytvoří 3D objekt.

5 ZÁKLADNÍ POPIS POUŽITÝCH SOFTWAREŮ

5.1 KScan3D

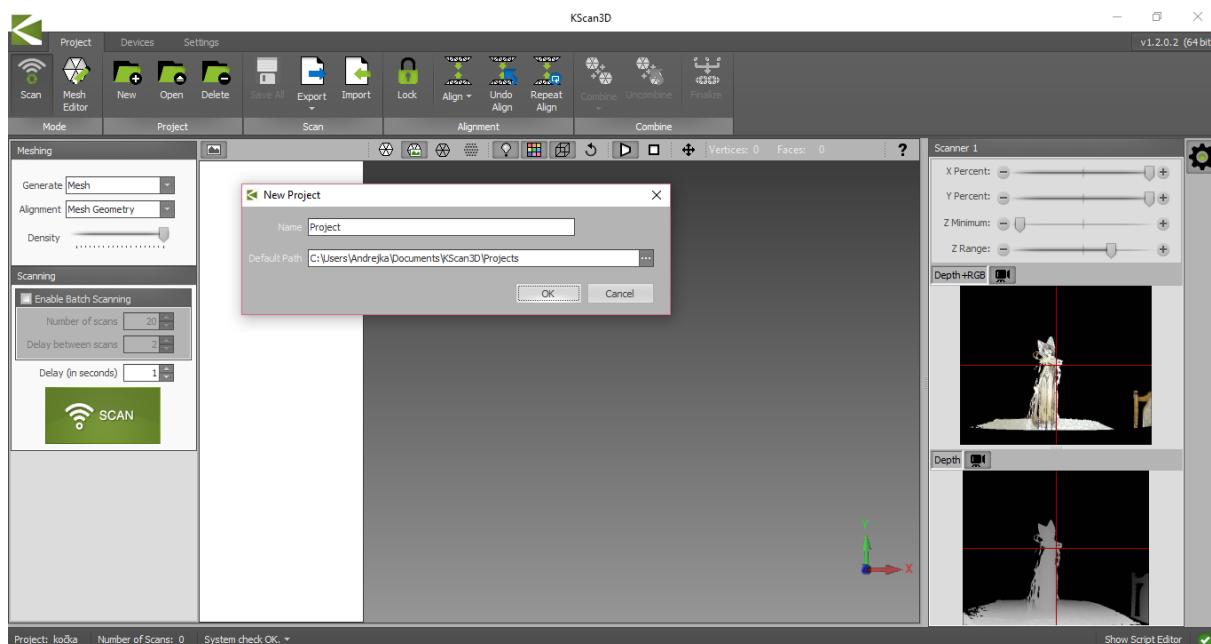
KScan3D je software pro snímání 3D objektů, jejich úpravu a vizualizaci. Byl vyvinut společností LMI Technologies. Podporuje senzory Kinect One, Kinect 360, Asus Xtion, Asus Xtion PRO a Asus Xtion PRO LIVE. Tento program je volně dostupný na oficiálních stránkách [KScan3D, 2016]. Instalace není nijak náročná a provází ji průvodce. Pro správnou funkčnost je potřebný operační systém Windows 7, doporučená paměť 2 GB a minimálně 10 GB volného místa na disku.

Při prvním spuštění KScanu je potřeba připojit senzor pomocí USB kabelu a počkat, až se nainstalují potřebné nejnovější ovladače skeneru. Pokud se skener nepřipojí, nezobrazí se v pravém sloupci okýnko zobrazující skenovaný objekt. V záložce „Devices“ po kliknutí na „Reconnect“ se senzor připojí. Po připojení skeneru se zobrazí informace o skeneru (Obr. 14).



Obr. 14 KScan3D – znovu připojení skeneru (zdroj: autor).

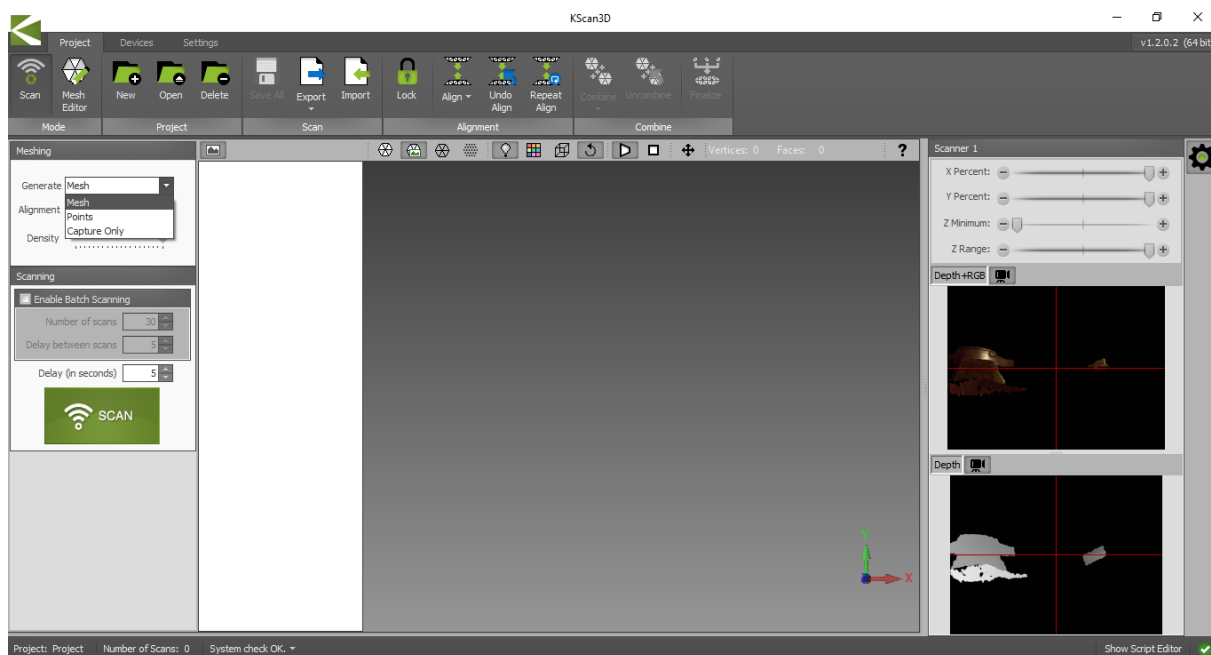
Před začátkem skenování se po kliknutí na „Project“ a „New“ vytvoří nový projekt (Obr. 15).



Obr. 15 KScan3D – vytvoření nového projektu (zdroj: autor).

KScan3D má jednu velkou výhodu při nastavování skenování. Jsou dvě možnosti: buď se obchází se skenerem okolo objektu, a tím pádem je objekt nehybný, nebo je nehybný senzor a s objektem se otáčí na otáčecí podložce.

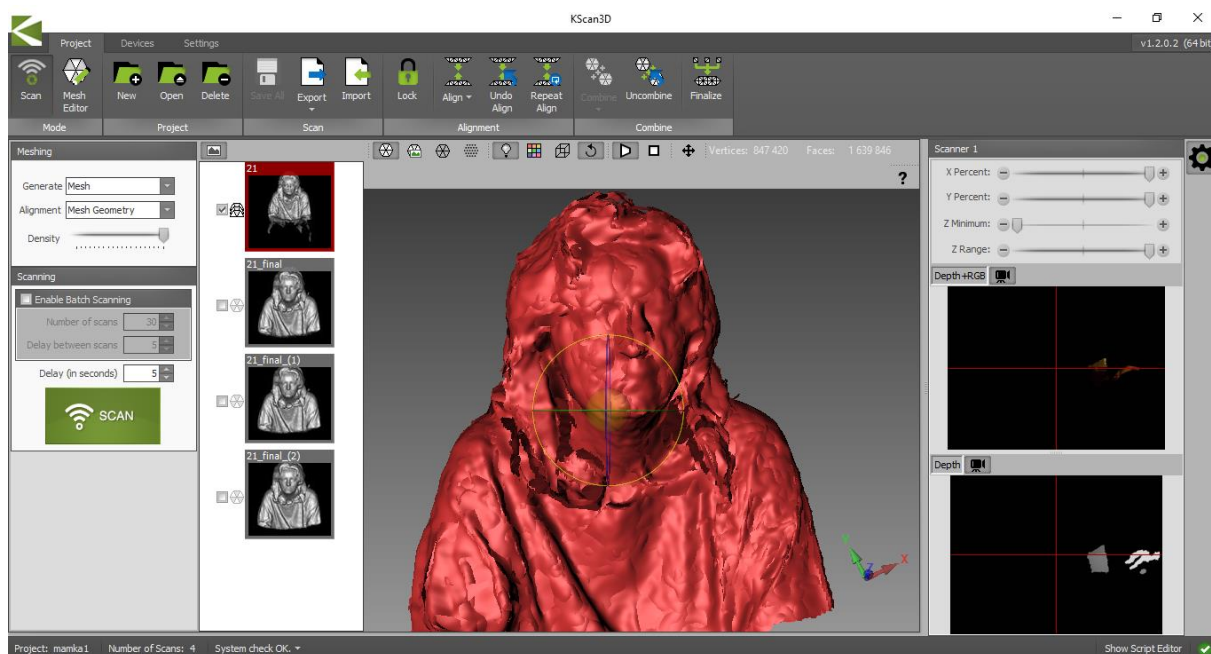
Před skenováním je nutné nastavit, jakým způsobem se bude skenovat. Jsou také dvě možnosti: „Mesh“ nebo „Capture Only“. Nastavuje se v levém sloupci (Obr. 16). Zatrhnutím „Enable Batch Scanning“ lze nastavit počet snímků (number of scans), časová mezera mezi skeny (delay between scans) nebo čas, který umožňuje se připravit a dojít k objektu skenování (delay in seconds). Poté stačí už jen zvolit objekt skenování a stisknout tlačítko „SCAN“.



Obr. 16 KScan3D – nastavení skenování (zdroj: autor).

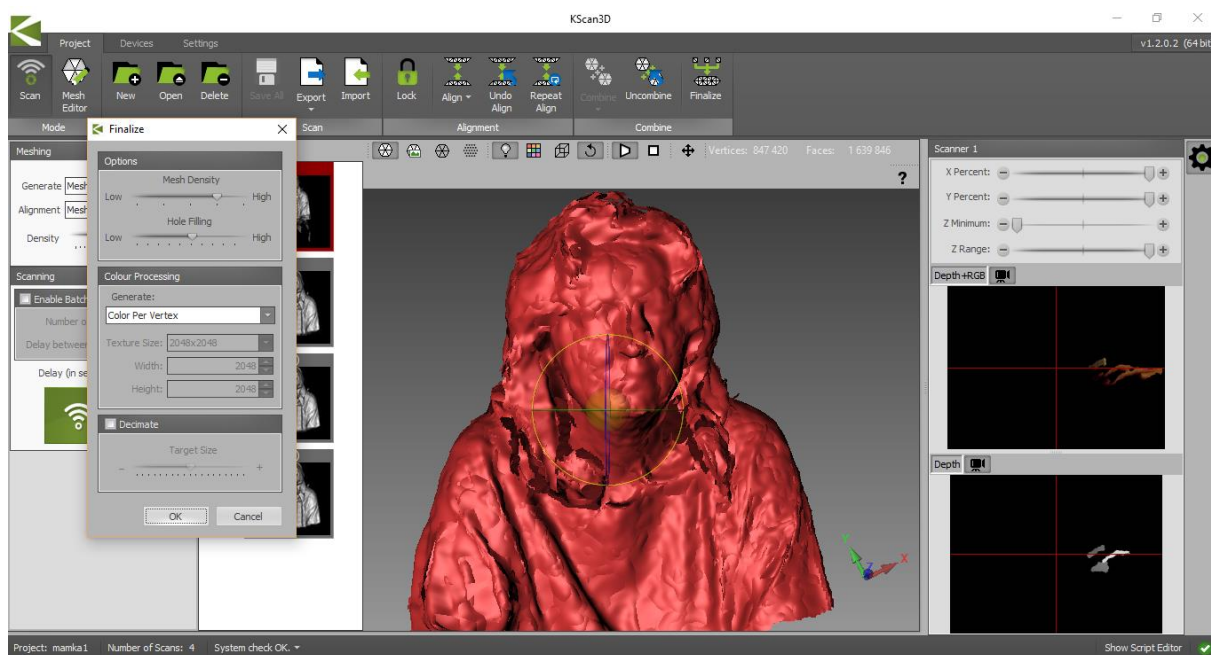
Po dokončení skenování přichází fáze úpravy snímků. V této fázi je možné nastavit nejružnější zobrazení snímků, s texturou, bez textury, v bodech nebo tzv. mračnu bodů. Díky lampičce je možné nasvítit snímky pro lepší úpravu. Velkou výhodou při úpravě je možnost obarvení každého snímku jinou barvou. Někdy se stává, že se při skenování zachytí jiné objekty, které jsou na výsledném objektu nechtěné. Výborná je funkce ořezávání snímků pomocí držení klávesy CTRL a levého tlačítka myši a klávesy DELETE. Pozor, aby nebyl označen a smazán předmět skenování. Objektem lze také různě otáčet pomocí kolečka na myši.

Někdy se stává, že se skeny na sebe nepřidají, proto je nutné manuálně dát skeny do polohy, ve které by měly alespoň přibližně být, aby se pak při dalším kroku skeny spojily. Předposledním krokem je označení všech skenů, které jsou v levém sloupci. Je zde využívána klávesová zkratka CTRL+A, následně skeny zčervenají. Poté se v hlavní nabídce rozsvítí tlačítko „Combine“. Program si sám automaticky spojí skeny. Tato operace trvá několik minut. Po skončení se ve sloupci se skeny přidá nový sken se speciální značkou (Obr. 17). Ten lze ještě ořezávat, takže pokud je něco zanedbáno, je dobré to nyní dokončit.



Obr. 17 KScan3D – spojené skeny po operaci Combine (zdroj: autor).

Posledním krokem je tlačítko „Finalize“, které se rozsvítí, když je označený spojený sken se zvláštní značkou. Poté vyběhne okno, kde se nastavuje „Density“ a „Hole Filling“, které ovlivňují vyhlazení objektu a vyplnění děr (Obr. 18). Toto nastavení je velice individuální a záleží, kolik je na objektu děr, a jak moc se musí objekt vyhladit. Tato operace trvá nějakou dobu, po které se objeví nový sken v levém sloupci. Ten pak KScan3D umožňuje exportovat do několika formátů .obj, .stl, .ply, .3d3, .asc nebo .fbx.



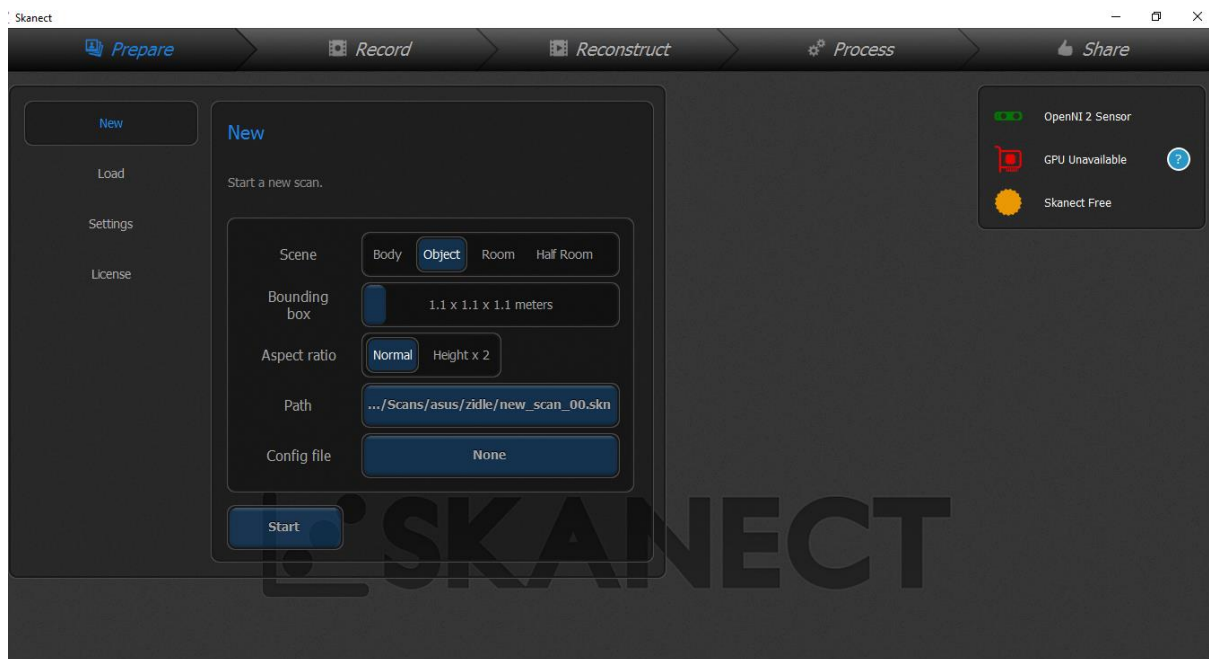
Obr. 18 KScan3D – nastavení vyhlazení, vyplnění děr a vytvoření finálního objektu (zdroj: autor).

5.2 Scanect

Scanect je další software pro snímání, vizualizaci a úpravu 3D objektů vyvinutý společností ManCTL. Na rozdíl od předchozího jsou dostupné dvě verze – placená a neplacená. Při práci byla použita free verze 1.8.3 dostupná na oficiálních stránkách [Get Scanect, 2016]. Scanect podporuje senzory Kinect 360, Asus Xtion, Asus Xtion Pro a Asus Xtion Pro Live. Pro instalaci je nutné mít operační systém Windows 7 a vyšší nebo Mac OS X. Instalaci také provází průvodce.

Stejně jako v předchozím případě, je při spuštění nutné připojit pomocí USB portu senzor k PC. Pokud se senzor připojí, zobrazí se v pravém horním rohu informace o senzoru a licenci softwaru. Pokud ne, s největší pravděpodobností je stažena špatná knihovna pro podporu senzoru, nebo Scanect daný senzor nepodporuje.

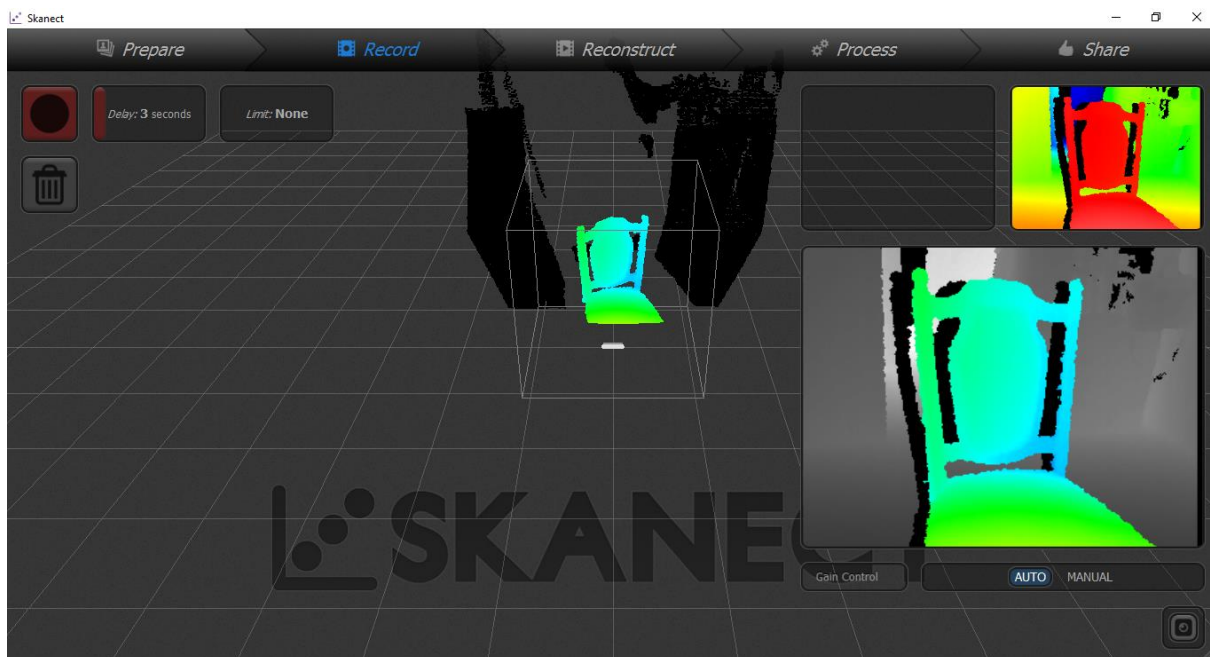
Při vytvoření nového projektu v záložce „Prepare“ a „New“ vyskočí nastavení pro skenování – co chcete snímat za objekt, jak velkou plochu má skener snímat, kde chcete uložit soubor apod. (Obr. 19). Program také umožňuje nahrání souboru, nebo základní uživatelské nastavení, či dokoupení placené licence. Po kliknutí na „Start“ přejde do záložky „Record“.



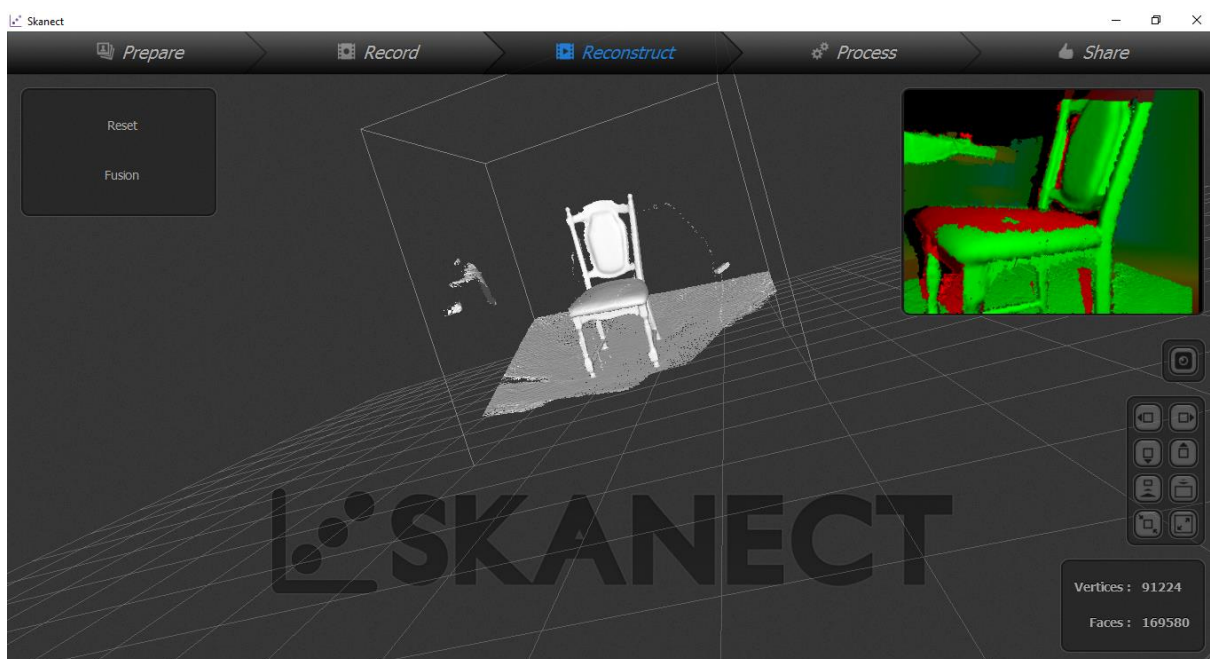
Obr. 19 Scanect – vytvoření nového projektu a jeho nastavení (zdroj: autor).

V tomto kroku se nastavuje konkrétní snímání objektu. „Delay“ označuje dobu před začátkem snímání a „Limit“ je omezení času snímání (Obr. 20). Napravo jsou tři nebo dva čtverce, které ukazují snímáný objekt. Barvy označují, jak daleko je senzor od objektu. Podle toho by se měl uživatel řídit, aby byla dodržovaná minimální vzdálenost od objektu. Po kliknutí na tlačítko červeného čtverce s černým kolečkem vlevo nahoře senzor začne snímat. Dokončení snímkování je provedeno kliknutím na červený čtverec. Velkou nevýhodou je, že skener snímá bez přerušení mezi snímky. Není to jako u KScanu3D, že se dá nastavit čas mezi snímky. Takže pokud jde uživatel moc rychle, software napíše hlášku, aby se uživatel se skenerem vrátil do původní polohy, protože skener nestihl zaznamenat povrch objektu. To je ale v mnoha případech velký problém a v případě nezdaru se celá dosud naskenovaná část zničí.

V záložce „Reconstruct“ lze malými tlačítky vpravo dát objekt do správné vodorovné polohy (Obr. 21). Po překliknutí na záložku „Process“ se upravuje výsledný objekt.

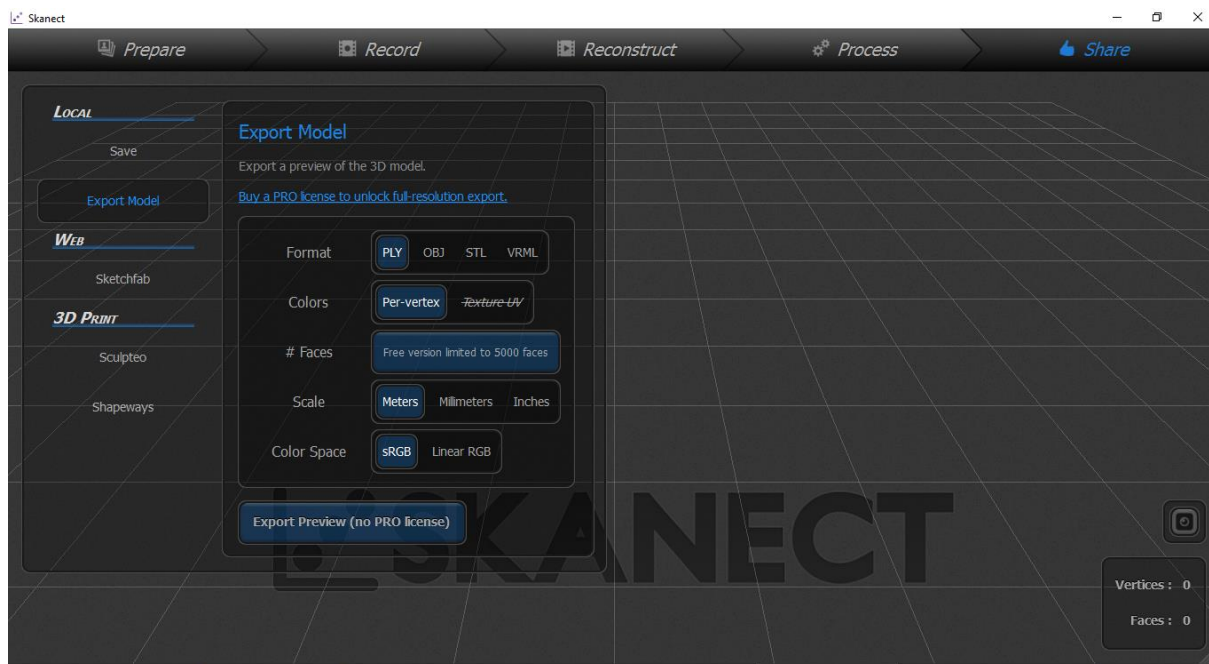


Obr. 20 Scanect – nastavení snímkování (zdroj: autor).



Obr. 21 Scanect – záložka "Reconstruct" (zdroj: autor).

Stejně jako u KScanu lze mazat přebytečné objekty, vyhlazovat objekt a zalepovat díry. Možnou výhodou může být funkce vodotěsnosti. Největším problémem a velkou nevýhodou oproti KScanu je omezený export objektů jen na 5000 polygonů, což z 3D objektu udělá hranatý model. Další nevýhodou je nemožnost uložení celého projektu jako souboru, to zamezuje následnému znovuotevření a upravení modelu. V poslední záložce je možnost exportu do formátů .obj, .ply, .stl a .vrml, nebo uložení na web Sketchfab, Sculpteo nebo Shapeways (Obr. 22).

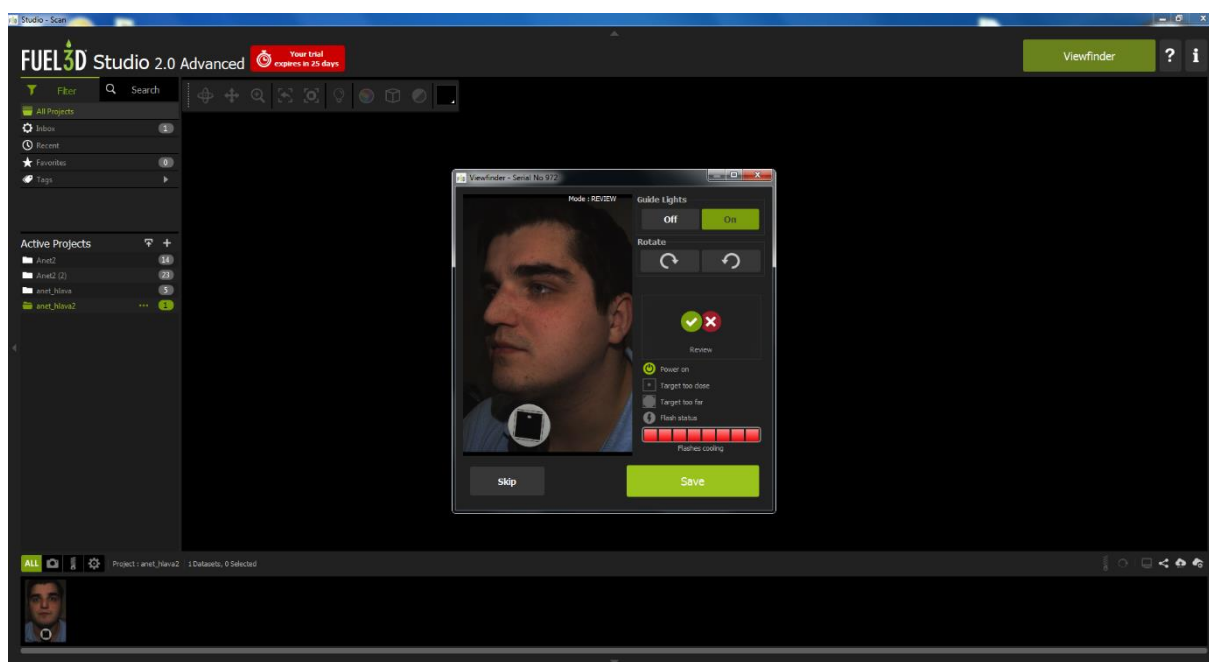


Obr. 22 Scanect – export 3D objektu (zdroj: autor).

5.3 Fuel3D Studio

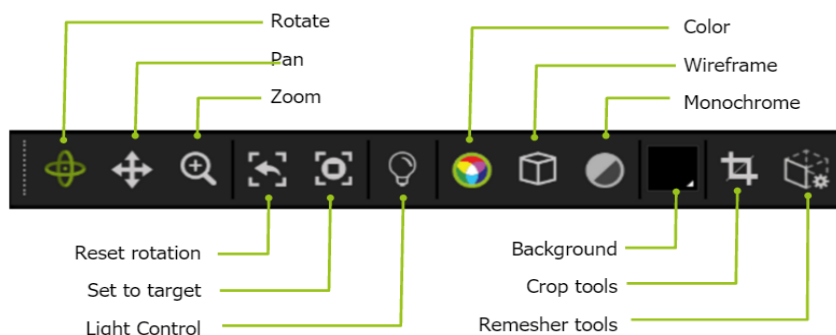
Fuel3D studio je software podporující pouze skener Scanify od firmy Fuel3D. Slouží pro zachycení snímků, následné vyhotovení 3D objektu, jeho úpravu a export do jiných formátů. Tento software existuje v několika verzích – Starter, Plus a Advanced (poslední dvě jsou placené). V této práci byla použita 30 denní verze Fuel3D Studio 2.0 Advanced.

Stejně jako v předchozích softwarech se musí připojit Scanify do portu USB a zástrčky elektrického proudu. Po otevření Fuel3D Studia je potřeba vytvořit novou složku kliknutím na tlačítko znaménka plus, zde se jednotlivé snímky budou ukládat. Následným kliknutím na tlačítko „Viewfinder“ v pravém horním rohu se otevře menší okno (Obr. 23). Toto okno slouží pro kontrolu, zda je senzor od objektu blízko nebo daleko, a kdy jsou nahřáté blesky (červené načítání) a může se tedy skenovat. Dále je možné natáčet kameru ve skeneru pomocí tlačítek „Rotate“, nebo vypnout blesky pomocí tlačítka „Guide Lights“. Každý snímek je nutno uložit tlačítkem „Save“.



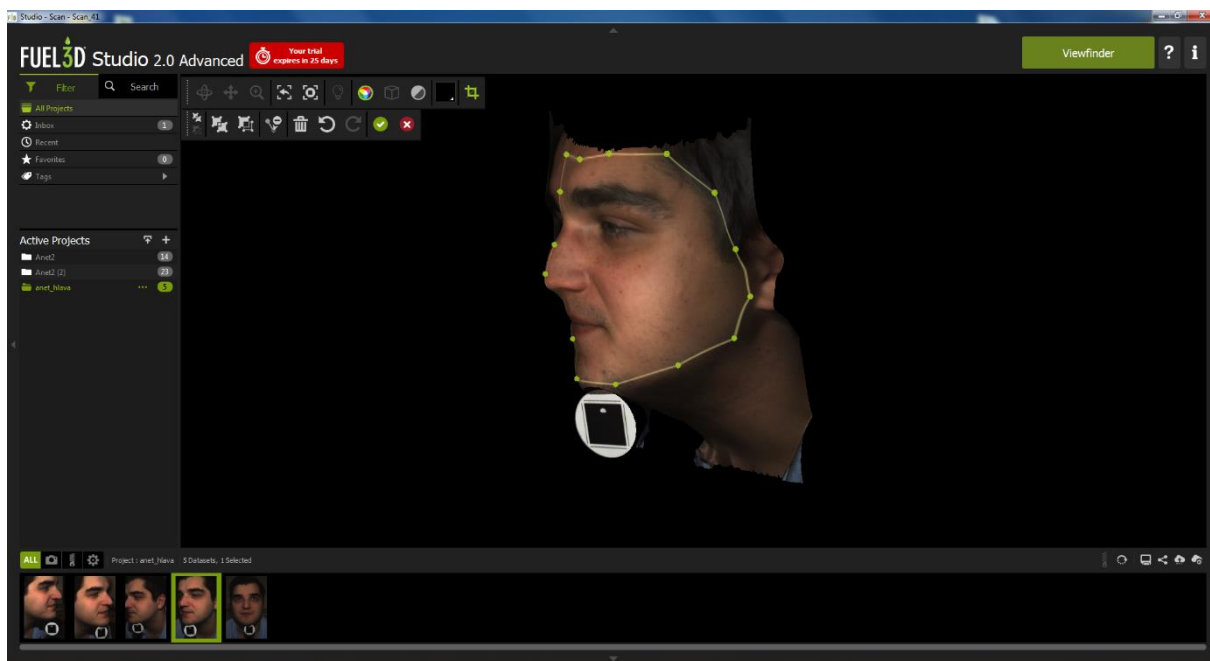
Obr. 23 Fuel3D Studio – okýnko "Viewfinder" (zdroj: autor).

Po naskenování celého objektu je potřeba tyto snímky ořezat o věci navíc a takzvané terčíky, které slouží pro kontrolu vzdálenosti od objektu. Přebytné objekty se odstraní kliknutím na snímek a následným ořezáním pomocí funkce „Crop tools“, která se nachází v hlavním menu (Obr. 24).



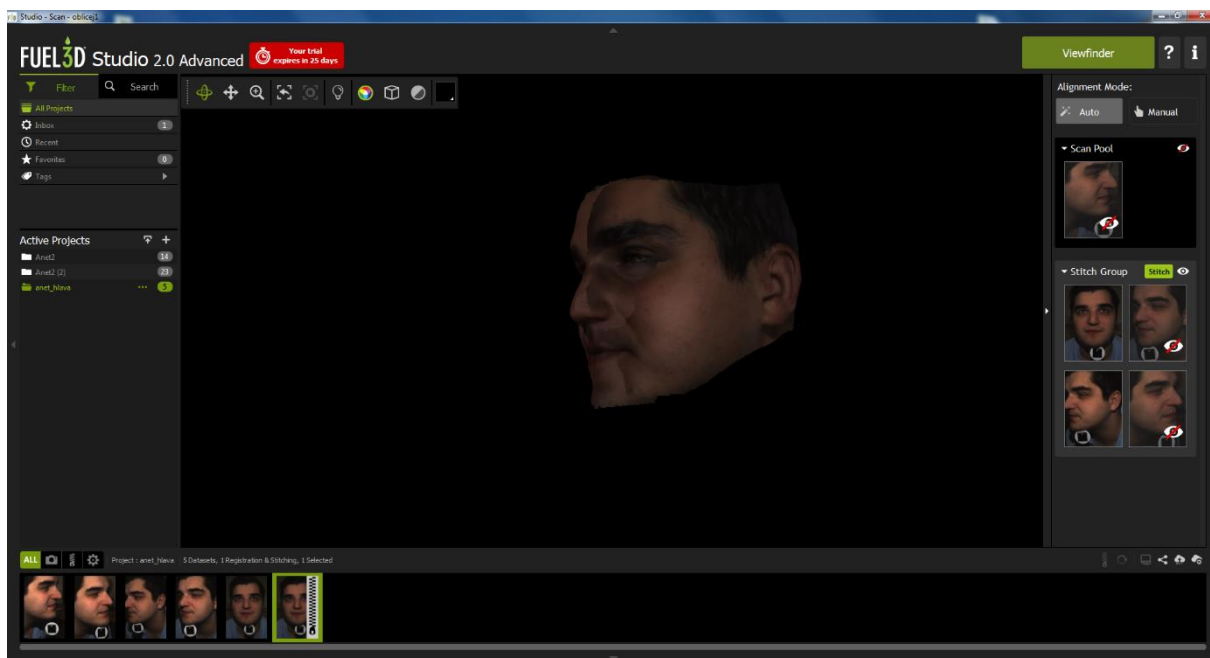
Obr. 24 Fuel3D Studio – hlavní menu pro úpravu snímků (zdroj: <https://fuel-3d.app.box.com/studio-software-manual>).

Ta se po rozkliknutí zvětší a umožní další funkce. Po zvolení se označuje buď pozitivní oblast, která je žádoucí (Obr. 25), nebo negativní oblast, která je nežádoucí – například oblast terčíku. Po kliknutí na zelenou šipku je dokončeno ořezání. Menu nabízí samozřejmě více funkcí jako je nasvícení, nejrůznější rotace a otáčení, změna pohledu na pohled s texturou nebo bez textury atd. Když jsou ořezány všechny snímky, tak je potřeba dole všechny snímky označit a kliknout vpravo na dolní liště na malý zip. Ten spojí všechny snímky dohromady a přesune je do části vytváření 3D objektu.



Obr. 25 Fuel3D Studio – označení a ořezání kladné oblasti (zdroj: autor).

V této poslední části úpravy snímků program odkáže do pravého sloupce, kde se snímky spojí automaticky nebo manuálně (Obr. 26). Pokud manuálně, tak pomocí myši se snímky přetahují na sebe, a poté se buď automaticky spojí a vloží se do skupinky „Stich Group“, nebo bude potřeba vřícovacích bodů, pomocí kterých se snímky spojí. Výhodou je, že se snímky dají dočasně zneviditelnit, takže při spojování nepřekáží.



Obr. 26 Fuel3D Studio – mód spojování snímků (zdroj: autor).

Posledním krokem je kliknutí na zelené tlačítko „Stich“, které snímky spojí a vytvoří 3D model. Nachází se také v pravém sloupce. Zobrazí se tabulka s možnostmi nastavení pro „Stitch tightness“, což označuje, jak moc zamezit viditelnosti přesahů u

jednotlivých snímků. To znamená, že pokud je potřeba menší zjizvení, nastaví se číslo co nejmenší. „Stich detail“ pak označuje, jak detailní objekt má být, čím nižší hodnota, tím nižší detail. Poté je model hotov a je ho možné exportovat do formátů .obj, .stl, nebo .ply.

6 SKENOVÁNÍ OBJEKTŮ

Pro potřeby bakalářské práce a testování bylo nutné vybrat vhodné objekty, které splňovaly předem dané podmínky. Za vhodné objekty byly po rešerši vybrány pravidelné a nepravidelné objekty. Jako pravidelný objekt byla vybrána papírová krabice a globus. Jako nepravidelný objekt s texturou byla vybrána dřevěná židle a reliéfní mapa. A posledním vybraným objektem byl lidský obličej a celá postava. Tyto objekty byly vybrány pro otestování možností a omezení jednotlivých skenerů. Objekty byly rozděleny do čtyř velikostních skupin, aby se následně mohla doporučit optimální velikost objektu. Během tohoto testování se narazilo na řadu velikostních omezení těchto skenerů. Skenování probíhalo ve třech softwarech, kde se zkoumaly jejich možnosti a nastavení, konkrétně se jednalo o softwary KScan3D, Scanect a Fuel3D Studio. Také se zkoumaly nejvhodnější podmínky pro testování. Hlavně se jednalo o velikost místnosti a osvětlení. Testovalo se za různých podmínek: za denního světla, za umělého osvětlení nebo za přímého slunečního záření, kdy vznikaly stíny. Co se týče místnosti, testovalo se ve třech typech: za denního i umělého světla v menší místnosti, kde se nacházely i přebytné objekty, v prostorné místnosti s denním nebo umělým osvětlením bez přebytných předmětů.

6.1 Globus

Skenování školního globusu s Kinectem 360 probíhalo v malé místnosti, kde nesvítilo přímé sluneční záření, ale byl zde dostatek denního světla. V místnosti se naházely i jiné předměty, než globus. Globus jako takový byl z plastu, ale půl poledník byl z kovu.

První testování probíhalo v softwaru KScan3D, kde byla použita metoda „Mesh“ a „Mesh Geometry“. Nehybným byl v této situaci skener a otáčelo se pouze školním globusem. Skener byl postaven přibližně v polovině výšky školního globusu a vzdalovali se od sebe 90 cm. Co se týče nastavení počtu snímků, tak v této situaci počet nebyl omezen. Po naskenování celého globusu se vytvořilo 25 snímků, které se překrývaly přes sebe a měly okolo zbytečně moc přebytných předmětů. Bohužel se v tomto případě snímky správně nepřipojily a nedošlo k vytvoření 3D objektu. Nepomohla ani úprava snímků ořezáním o přebytné předměty. Z tohoto důvodu se zkusila jiná metoda skenování.

Druhým pokusem byla stejná metoda „Mesh“ a „Mesh Geometry“, která probíhala za stejných vzdálenostních podmínek jako první pokus. Jediným rozdílem bylo samotné skenování, kdy nehybným objektem byl školní globus a okolo se pohybovalo skenerem. Ani zde se neomezoval počet snímků, jelikož se nedalo odhadnout, kolik jich bude potřeba. I v tomto případě došlo k nesprávnému zachycení okolních objektů a nesprávnému zachycení všech snímků. Opět tedy nedošlo k vytvoření 3D modelu.

Posledním pokusem byla změna metody na „Capture Only“, kde se opět pohybovalo pouze skenerem a počet snímků také nebyl omezen. Vzdálenost se pohybovala okolo 90 cm. Bohužel i toto skenování nedosáhlo kladných výsledků.

Kinect One už neskenoval stejný globus jako v předchozím případě Kinect 360. Školní globus byl celý z plastu a skenoval se v mnohem větší místnosti s umělým osvětlením. V místnosti na katedře KGI bylo dostatek místa, takže skener by neměl zachycovat tolik okolních předmětů jako u Kinectu 360. Testování probíhalo také v softwaru KScan3D a byla zvolena metoda „Mesh“ a „Mesh Geometry“, kdy byl nehybným předmětem globus. Skenerem se tedy obcházelo okolo objektu skenování. Ani v tomto případě nebyl omezen

počet snímků. Nakonec vyšlo 21 snímků globusu, které zachytily i povrch stolu, na kterém globus stál.

Předposledním pokusem skenování bylo pomocí skeneru Asus Xtion. Testování probíhalo ve stejné prostorné místnosti katedry jako u Kinectu One. Rozdílem bylo pouze osvětlení, kdy se skenovalo za denního světla. Opět se pracovalo v softwaru KScan3D a zvolila se osvědčená metoda „Mesh“ a „Mesh Geometry“. Počet snímků opět nebyl omezen a ve výsledku vyšlo 22 snímků školního globusu bez textury.

Poslední testování globusu probíhalo pomocí skeneru Scanify od firmy Fuel3D. Toto testování probíhalo v místnostech Vědeckotechnického parku v Olomouci. První testování probíhalo v menší místnosti s malým prostorem na skenování za umělého osvětlení. Skenován byl opět globus s kovovým půl poledníkem. Skener sám ukazuje, kdy je daleko nebo blízko od předmětu skenování, vzdálenost se tedy pohybovala mezi 35 až 45 cm. Vzhledem k tomu, že skener má kratší kabeláž, bylo potřeba postavit globus na otáčecí skenovací podložku, pomocí které bylo s globusem otáčeno. V tomto případě se pracovalo s oficiálním softwarem Fuel3D Studio, který je součástí balení skeneru. Bohužel byl tento software nevhodně nainstalovaný na počítači, který neměl dostatečné parametry, aby zvládl práci s větším množstvím snímků a následné automatické spojení snímků by trvalo až několik hodin. Naneštěstí software neumožňoval export celého projektu. Proto se přešlo k druhému pokusu testování.

Toto druhé testování probíhalo ve větší místnosti s dostatečným prostorem na skenování a s umělým osvětlením. Vzdálenost od globusu byla stejná jako v předchozím případě. Vzhledem k tomu, že oficiální software není možno přenášet mezi více počítači, bylo nutné pracovat v jiné verzi. Po vyzkoušení několika z nich byla využita 30 denní verze Advanced 2.0. Po naskenování globusu bylo zjištěno, že software neumí automaticky model globusu spojit. Proto se přikročilo k manuálnímu ovládání. Ani tento krok však nepomohl ke kladnému výsledku.

6.2 Obličej člověka

U obličeje člověka šlo hlavně o otestování skenerů, zda umí zachytit člověka a jestli jim vadí „živý objekt“. Pro toto testování byly záměrně zvolené různé typy obličejů, například obličej s brýlemi, obličej s dlouhými vlasy nebo obličej se strništěm. Nejdůležitější bylo otestování možností skenerů.

Skenování s Kinectem 360 probíhalo v softwaru KScan3D. Co se týče nastavení skenování, bylo skenování nastaveno na 20 snímků. Mezi snímky byl nastaven čas pro přesun pět vteřin a deset vteřin čas na přípravu. Skenovalo se pomocí metody „Mesh“ a „Mesh Geometry“. Místnost byla velmi prostorná a dobře osvětlena denním světlem. Samotný model seděl na židli, aby se vyhnulo komplikacím s vyšším modelem, než je samotný uživatel skeneru. Vzdálenost od objektu byla 80 až 90 cm. Objektem skenování byla žena s dlouhými vlasy. Při vytváření závěrečného 3D modelu bylo nastaveno „Mesh Density“ na hodnotu čtyři. Jelikož se při skenování zapoměla zachytit vrchní část hlavy, musela se hodnota „Hole Filling“ nastavit na pětku.

Bylo potřeba také vyzkoušet jiný software, proto bylo odzkoušeno skenování v softwaru Scanect při skenování obličeje pomocí Kinectu 360. V softwaru bylo nastaveno „Scene“ na „Body“ a ohraničující box byl na 1,5 x 1,5 x 1,5m. Dále nebyl nastaven limitní čas, ale bylo nastaveno pět vteřin na přípravu. Nehybným byl v tomto případě model a

skenerem se obcházel okolo objektu ve vzdálenosti cca 80 až 90 cm. Místnost, ve které se skenovalo, byla stejná jako v předchozím případě.

Testování Kinectu One bylo velmi podobné práci se skenerem Kinect 360. Práce rovněž probíhala v softwaru KScan3D za stejné nastavených podmínek skenování. Nebylo nutné dodržet přesně dvacet snímků pro naskenování, jelikož šlo skenování kdykoliv zastavit. Skenovalo se ve velmi prostorné místnosti Katedry geoinformatiky za umělého osvětlení. Objektem skenování byl student KGI. Závěrečné vyhotovení 3D modelu bylo s nastavením „Mesh Density“ na hodnotu tři a „Hole Filling“ na hodnotu deset. Tak vysoká hodnota „Hole Filling“ byla z důvodu opomenutí naskenování vršku hlavy.

U Kinectu One byl testován i jiný obličej a to konkrétně obličej s brýlemi. Skenování také probíhalo v prostorné místnosti, ale za denního světla. Stejně jako v předchozím případě se používal software KScan3D a osvědčená metoda „Mesh“ a „Mesh Geometry“, kde byl omezen počet snímků na dvacet, dále bylo nastaveno deset sekund na přípravu a pět sekund mezi snímky. Ačkoliv bylo nastaveno dvacet snímků, nakonec 3D model vznikl pouze z dvanácti snímků. Závěrečné nastavení bylo nastaveno na hodnotu tři u „Mesh Density“ i „Hole Filling“.

Pomocí stejného skeneru byl skenován stejný model, ale bez brýlí. Skenovací podmínky byly úplně stejné jako v předchozím případě u skenování obličeje s brýlemi. K vytvoření nakonec stačilo pouze sedmnáct snímků. Závěrečné nastavení 3D modelu bylo nastaveno na hodnotu tři jak u „Mesh Density“, tak u „Hole Filling“.

Skenování obličeje se skenerem Asus Xtion probíhalo také v softwaru KScan3D. Nastavení skenování je stejné jako u Kinectu 360. To znamená, že bylo nastaveno skenování na dvacet snímků, pět vteřin mezi snímky a deset vteřin na přípravu. Použita byla metoda „Mesh“ a „Mesh Geometry“. Místnost byla osvětlena denním světlem a bylo zde dostatek místa na skenování. Stejně jako v předchozích případech, obcházel se se skenerem okolo objektu skenování ve vzdálenosti přibližně 80 cm. Při vytváření závěrečného 3D modelu bylo nastaveno „Mesh Density“ i „Hole Filling“ na hodnotu tři.

Pomocí tohoto skeneru se zkoušelo skenovat obličej i v softwaru Scanect. Co se týče nastavení „Scene“, bylo nastaveno na „Body“ a ohraničující box na 1×1×1m. Dále byl nastaven limitní čas na jednu minutu a čas pro přípravu pět sekund. Skenování také probíhalo v místnosti s denním světlem a dostatečným prostorem. Vzdálenost se pohybovala okolo 80 cm. Skenování probíhalo trochu jiným způsobem než v softwaru KScan3D. Skener skenuje kontinuálně, takže bylo nutné se pohybovat pomalu, aby stihl vše dostatečně zachytit.

Skenování obličeje se skenerem Scanify probíhalo opět v prostorách Vědeckotechnického parku v Olomouci. Takže osvětlení bylo umělého charakteru a v místnosti bylo dostatek místa. Samotné testování probíhalo v 30 denní verzi Fuel3D Studia. Objektem skenování byl muž, který seděl nehybně na židli. Model musel držet tzv. terčík, aby skener uměl odhadnout vzdálenost. Tato vzdálenost byla okolo 35 až 45 cm. Každý snímek musel být ořezán o terčík, aby došlo k hladkému spojení a samotný terčík pak nebyl součástí modelu. Po spojení snímků manuální nebo automatickou cestou se výsledný 3D model nastavoval s hodnotami 0,13 pro „Stich Tightness“ a s hodnotou 9 pro „Stich Detail“.

6.3 Dřevěná židle

Skenování dřevěné židle Kinectem 360 bylo odzkoušeno v softwaru KScan3D pomocí metody „Capture Only“. Co se týče místnosti, skenovalo se za denního světla v místnosti s dostatečným prostorem pro testování. V tomto případě byla židle nehybným objektem. Vzhledem k tomu, že se snímky sice spojily, ale skener zachytil příliš mnoho plochy podlahy, bylo potřeba tyto snímky ořezat. Bohužel se snímky následně po kliknutí na „Build“ samy nespojily a nedošlo tedy k vytvoření 3D modelu. Chybou s největší pravděpodobností bylo předčasné ořezání snímků.

Proto se vrátilo k odzkoušené metodě „Mesh“ a „Mesh Only“. V základním nastavení bylo nastaveno 30 snímků, deset vteřin na přípravu a pět vteřin mezi snímky. Podmínky skenování byly stejné jako v předchozím případě. Při skenování bylo nutné obejít židli alespoň dvakrát, a to ve dvou různých výškách, jelikož skener neumí zachytit celý objekt najednou. Při vytvoření finálního objektu se „Mesh Density“ nastavilo na hodnotu čtyři a „Hole Filling“ na hodnotu pět.

Skenování židle s Kinectem 360 bylo odzkoušeno i v softwaru Scanect. „Scene“ bylo nastaveno na „Object“ a ohraničující box na 2×2×2m. Limitní čas opět nebyl omezen, pouze se nastavoval čas pro přípravu na pět sekund. Místnost sama o sobě byla prostorná a osvětlená denním světlem. Skenování probíhalo kontinuálně a skenovalo se seshora dolů. Bohužel v tomto případě skončilo testování v bodě, kdy uživatel skeneru šel rychleji, než skener stihl vše zachytit, a díky nezdaru vrácení se do původní polohy, nebyl objekt naskenován. Tento pokus proběhl ještě dvakrát, ale vždy se skončilo na stejné komplikaci.

V případě skenování židle pomocí Kinectu One byla opět využita metoda „Mesh“ a „Mesh Geometry“ v softwaru KScan3D. Stejně bylo i základní nastavení skenování, jako v předchozím případě u Kinectu 360. Skenování probíhalo také ve stejné místnosti a za stejných podmínek osvětlení. Skenovalo se pak seshora dolů, kdy se obcházel okolo židle. Stejně jako Kinect 360 i Kinect One zabral přebytně moc podlahy, o kterou musely být snímky ořezány. Závěrečné nastavení pak bylo u „Mesh Density“ na třetí hodnotě a „Hole Filling“ na hodnotě dva.

Asus Xtion, stejně jako v předchozím případě Kinect 360, pracoval v softwaru KScan3D pomocí metody „Mesh“ a „Mesh Geometry“, s 30 snímky, s deseti vteřinami na přípravu a pěti vteřinami mezi snímky. Skenovalo se také ve stejné místnosti a za stejných podmínek jako u Kinectu 360 a Kinectu One. A i tentokrát byla nehybným objektem židle. Zde se také aplikovalo skenování ve dvou různých výškách. I tyto snímky musely být ořezány o přebytnou plochu podlahy. Poté bylo nastaveno „Hole Filling“ na hodnotu pět, „Mesh Density“ na hodnotu tři.

Testovalo se také v softwaru Scanect, ve stejné prostorné místnosti a s denním světlem. „Scene“ bylo nastaveno na „Object“ a ohraničující box na 2×2×2 metry stejně jako v případě Kinectu 360 stejně jako nastavení skenování. U výsledného modelu byla snaha zbavit se přebytné podlahy, ale bohužel díky omezeným možnostem softwaru bylo jednodušší podlahu zanechat. V tomto a také předchozím případě u softwaru KScanu3D, bylo potřeba další osoby, která mi držela notebook, jelikož Asus Xtion disponuje velmi krátkým USB kabelem.

6.4 Postava člověka

Testování skenování postavy člověka zařízením Kinect 360 bylo v softwaru KScan3D a skenovalo se pomocí metody „Mesh“ a „Mesh Geometry“ a s 45 snímků. Skenování také probíhalo v prostorné místnosti s denním osvětlením. Přibližná vzdálenost od objektu byla 80 cm. V tomto případě bylo nutné rozdělit skenování do tří výšek, ve kterých se se skenerem obcházel okolo postavy člověka. Po manuální úpravě se „Mesh Density“ nastavilo na hodnotu čtyři a „Hole Filling“ na hodnotu pět.

V případě testování Kinectu One bylo základní nastavení softwaru KScan3D nastaveno na metodu „Mesh“ a „Mesh Geometry“, 60 snímků, deset vteřin na přípravu úvodní pozice a tři sekundy mezi snímky. Po všech skenování tři sekundy mezi snímky stačí. Co se týče podmínek pro skenování, tak v tomto případě do místnosti svítilo přímé slunce. Některé snímky bylo také nutno ořezat. Závěrečný objekt byl nastaven „Mesh Density“ na hodnotu dva a „Hole Filling“ na hodnotu pět. Pětka byla v tomto případě nastavena z důvodu zakrytí díry na hlavě, která vznikla opomenutím naskenování hlavy modelu a také větší výšky modelu.

Skenování pomocí Asusu Xtion probíhalo opět v KScanu3D s metodou „Mesh“ a „Mesh Geometry“. Původně bylo nastaveno 60 snímků, deset vteřin na přípravu a pět vteřin mezi snímky. Nakonec ale stačilo méně snímků, jelikož samotný model se více pohnul a díky tomu se následně pořízené snímky špatně spojovaly. Proto tento model nemá naskenované nohy. Do této prostorné místnosti také svítilo přímé slunce. Stejně jako u předchozích případů se snímky špatně spojovaly a bylo potřeba manuálního zásahu. V tomto případě byla také potřeba další osoby přenášející notebook. Výsledný model byl zpracován s „Hole Filling“ na páté hodnotě a „Mesh Density“ na čtvrté hodnotě.

6.5 Pravidelná krabička

Skenování krabičky probíhalo u všech skenerů za téměř stejných podmínek. Během skenování s krabičkou nebylo hýbáno a skener byl v půlce výšky krabičky. Dále se skenovalo v místnosti s umělým osvětlením. U všech testování se pracovalo v softwaru KScan3D a pomocí metody „Mesh“ a „Mesh Geometry“ s deseti snímky a dvěma vteřinami mezi snímky. Z těchto deseti snímků se pak vybrali nejlepší pro závěrečné spojení. Ve všech případech se krabička automaticky nespojila do 3D modelu, a proto se muselo zasáhnout manuálně.

U Kinectu 360 byla vzdálenost od krabičky 80 cm a u vytvoření závěrečného 3D modelu bylo nastaveno „Hole Filling“ na hodnotu tři a „Mesh Density“ na nulu.

U Kinectu One byla vzdálenost od krabičky také 80 cm jako v případě Kinectu 360. Po spojení bylo nastaveno „Hole Filling“ na hodnotu pět a „Mesh Density“ na nulu.

U Asusu Xtion byla vzdálenost od objektu také 80 cm a výsledný model byl nastaven na hodnotu tři a u „Hole Fillinga“ „Mesh Density“ na nulu.

6.6 Plastická reliéfní mapa

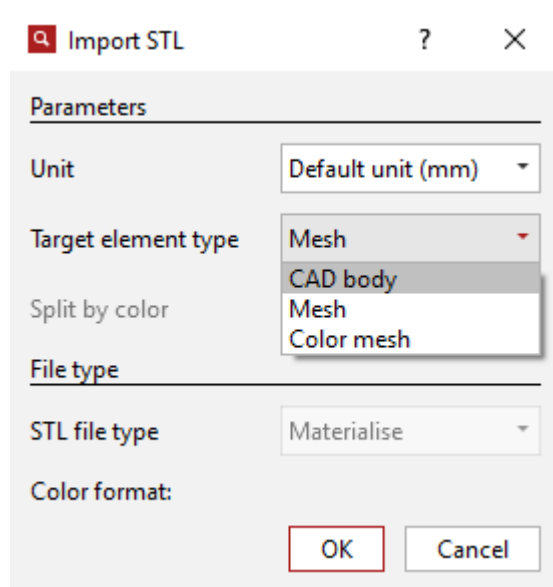
Skenování plastických reliéfních map probíhalo taktéž za stejných světelných podmínek, lišilo se pouze vzdáleností od objektu. Skenovalo se v prostorné místnosti katedry KGI s umělým osvětlením kolmo ke skenovaným objektům. Snahou bylo, aby se skenovalo kolmo ke středu mapy, proto, proto byly mapy připevněny ke stěně. Testování následně probíhalo na reliéfní mapě Beskyd, Tater a České republiky. Vzhledem k tomu, že mapy se samy automaticky vyfotí jako 3D objekt, nebylo potřeba skeny spojovat dohromady. Každá z map byla naskenovaná třikrát ze stejné vzdálenosti, aby se předešlo špatným snímkům. Nejlepší snímky byly ořezán o přebytečnou zeď nebo stůl, na kterém mapy stály nebo se opíraly. Samotné skenery stály ve stejné výšce na stativu.

U Kinectu 360 se mapy skenovaly 100 cm od skeneru, u Asus Xtion pak 110 cm, u Kinectu One 80 cm od mapy. Ačkoliv výrobci uvádí minimální vzdálenost od objektu, je někdy potřeba skener posunout dál, aby zabíral celý objekt a ne jen jeho část.

7 TESTOVÁNÍ PŘESNOSTI

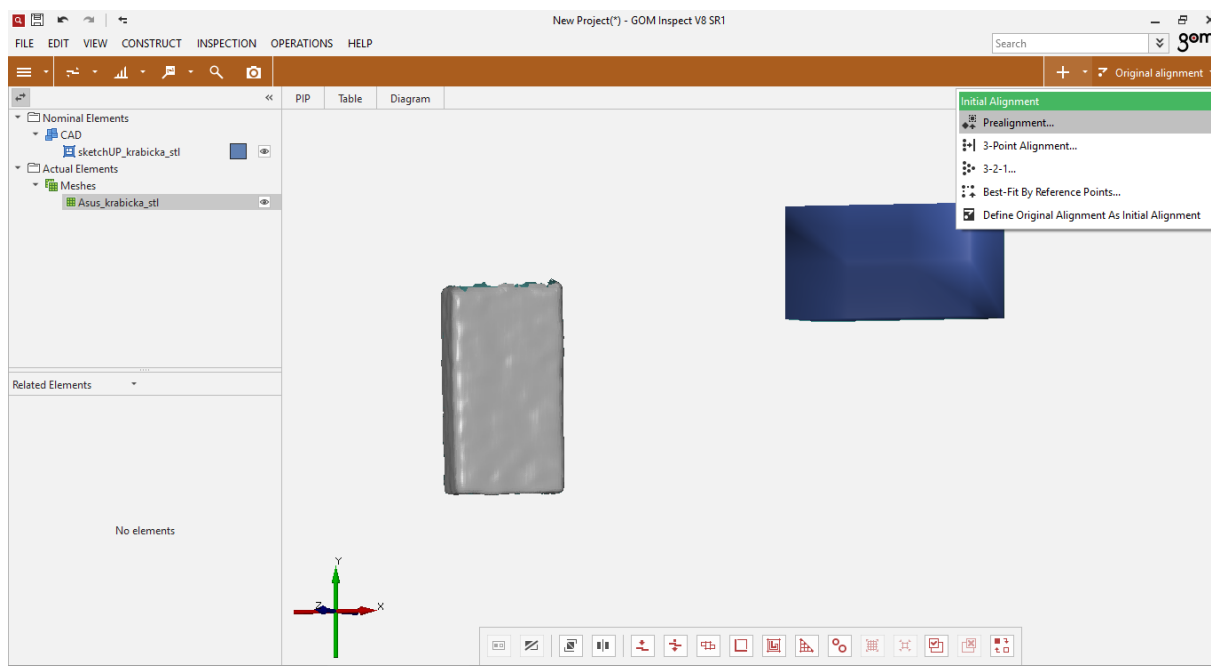
Pro testování přesnosti skenerů byly zvoleny jako objekty pravidelná krabička a plastické reliéfní mapy Beskyd, Tater a České republiky. Krabička byla přesně změřena pomocí digitálního posuvného měřidla (takzvané šuplery), a následně dle změřených rozměrů vytvořena v programu SketchUp 2016. Výsledný model byl uložen do formátu .stl. Poté byla krabička naskenována všemi skenery, za stejných světelných podmínek a minimální vzdálenosti od objektu, jak je popsáno v Tab. 8.1. Skenování probíhalo v programu KScan3D a výsledné 3D objekty byly uloženy taktéž do formátu .stl. Testování přesnosti probíhalo v softwaru GOM Inspect V8 SR1, který je po registraci zdarma dostupný na oficiálních stránkách [GOM, 2016].

Po vytvoření nového projektu byl nahrán do softwaru GOM Inspect pomocí importu soubor krabičky vytvořený v programu SketchUp. Tato data se nastavila jako nominální díky vybrání položky „CAD body“ v nastavení „Target element type“ (Obr. 27). Dále se nahrála data ze skeneru, kde jedinou výjimkou bylo nastavení „Target element type“, které nebylo „CAD body“, ale „Mesh“. Data se zobrazila v levém panelu ve složkách „Nominal Elements“ a „Actual Elements“, kde modře obarvené byla CAD data a zeleně obarvená byla data ze skeneru.



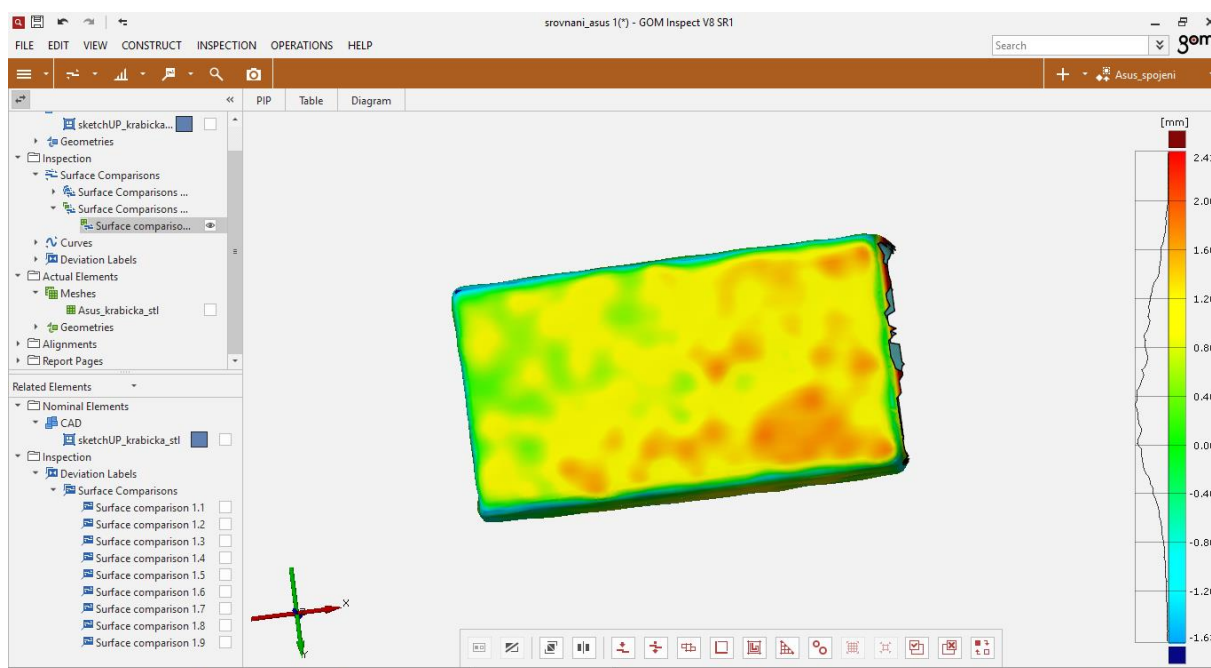
Obr. 27 Vložení nominálních dat v GOM Inspect (zdroj: autor).

Následně bylo potřeba přidaná data spojit, respektive je přiložit na sebe, aby bylo možné spustit výpočty. To umožňovala funkce „Prealignment“ (Obr. 28). U nastavení této funkce bylo důležité, aby byla správně zvolená data a „Search time“ byl nastaven jako „Normal“. Jinak by se nevypočítala „Deviation“, neboli odchylka, a nebylo by možné funkci „Prealignment“ spustit. Poté se data přichytila na sebe a bylo možné přikročit k samotnému porovnání povrchů.



Obr. 28 Funkce Prealignment v softwaru GOM Inspect (zdroj: autor).

GOM Inspect nabízí dvě funkce pro porovnání přesnosti. První z nich je „Surface Comparison on Actual“. Funkce umožňovala nastavení maximální odchylky, kde v případě krabíčky i plastických reliéfních map byla zvolena maximální odchylka 30 mm. Výsledkem byl model obarvený podle odchylek (Obr. 29).



Obr. 29 Výsledek funkce "Surface Comparison on Actual" (zdroj: autor).

Druhou možností porovnání přesnosti byl „Inspection Section On Actual“. Tato funkce porovnávala oba objekty na základě průřezu osami X, Y nebo Z. S osami se dalo pohybovat do různých souřadnic. Stejně jako v předchozí funkci se dala nastavit maximální odchylka, přípustná tolerance a jiné hodnoty. Toto měření přesnosti je vhodné

dělat až druhé v pořadí, jelikož díky předchozímu měření se můžou umístit osy do největších rozdílů.

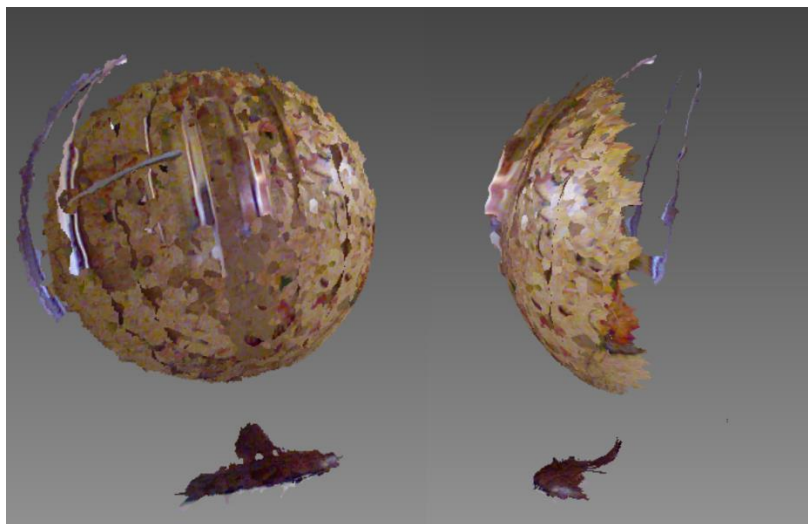
Obě výše jmenovaná porovnání přesnosti šla také vytvořit na CAD datech. Výsledek se poté zobrazil na CAD datech a ne na datech skenování.

Tento software také umožňoval výsledky shrnout do reportu, a to konkrétně pomocí funkce „Create Report Page“, která se nacházela pod tlačítkem fotoaparátu v hlavní nabídce. Bylo zde možné upravovat jednotlivé položky, nebo přidávat nejrůznější doplňky jako jsou popisky hodnot, legenda, směrovka nebo histogram. Také byla možnost vybrat z několika rozložení zobrazení reportu. Následně šlo report exportovat do formátu .pdf nebo png.

8 VÝSLEDKY

8.1 Globus

Skenováním školního globusu pomocí Kinectu 360 nedošlo ke kladnému výsledku ani při změně metody. Nedošlo tedy k vytvoření 3D modelu školního globusu. Jak je vidět na Obr. 30, snímky se ve všech případech přes sebe překrývaly a nedošlo tedy k správnému spojení snímků. Navíc skener měl problém zachytit kovový půl poledník. Díky tomuto testování se potvrdilo omezení skenerů skenovat kovové předměty.



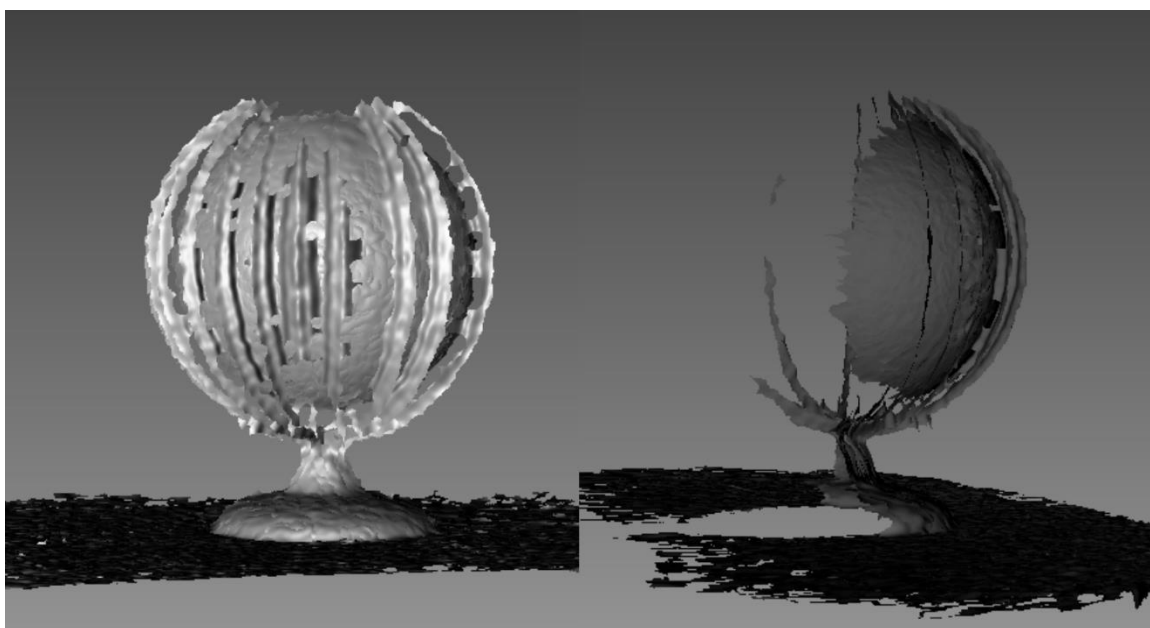
Obr. 30 Výsledek skenování školního globusu – Kinect 360, KScan3D (zdroj: autor).

V případě Kinectu One byl zaměněn školní globus za celoplastovou verzi. Ale ani v tomto případě nebyl kladný výsledek. Opět došlo k problému se spojením snímků. V tomto případě už skener neměl problém se zachycením půl poledníku, jelikož byl z plastu (Obr. 31).



Obr. 31 Výsledek skenování školního globusu – Kinect One, KScan3D (zdroj: autor).

Stejný výsledek byl také v případě skenování se skenerem Asus Xtion, kde byl stejný problém se spojením snímků. Stejně jako v případě Kinectu One byl skenován plastový školní globus. Výsledek byl bez textury, jelikož Asus Xtion nezachycuje texturu objektů (Obr. 32).



Obr. 32 Výsledek skenování školního globusu – Asus Xtion, KScan3D (zdroj: autor).

Skenování globusu se Scanify bylo trochu náročnější, vzhledem k tomu, že se musí používat terčik. Bylo nutno zvážit, jak terčik umístit, aby pokaždé nebyl na stejném místě a tím pak nevznikla díra v modelu. Přesto nebylo skenování úspěšné. Software má zřejmě problém automaticky spojit tak pravidelný objekt, což potvrzuje i školení, které proběhlo v září. Nepomohla ani snaha spojit snímky manuálně.

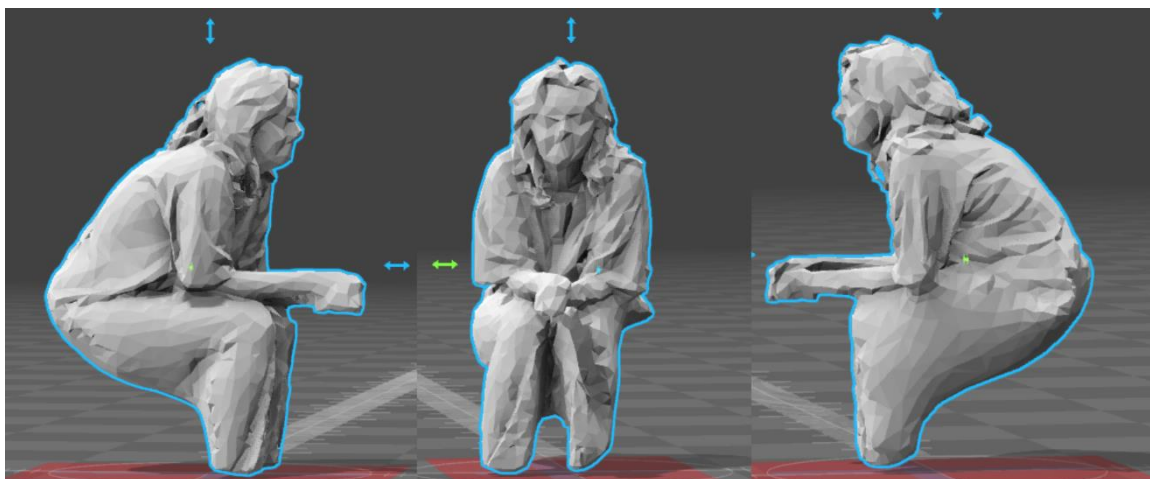
8.2 Obličej

Skenování obličeje s Kinectem 360 v softwaru KScan 3D probíhalo bez problémů. Snímky se automaticky spojovaly a dávaly na své místo. Výsledkem byl 3D model bez děr s ucházející texturou (Obr. 33).

Testování v softwaru Scanect probíhalo bez problémů, přesto byl výsledný model dost hranatý (Obr. 34).



Obr. 33 3D model obličeje – Kinect 360, KScan3D (zdroj: autor).

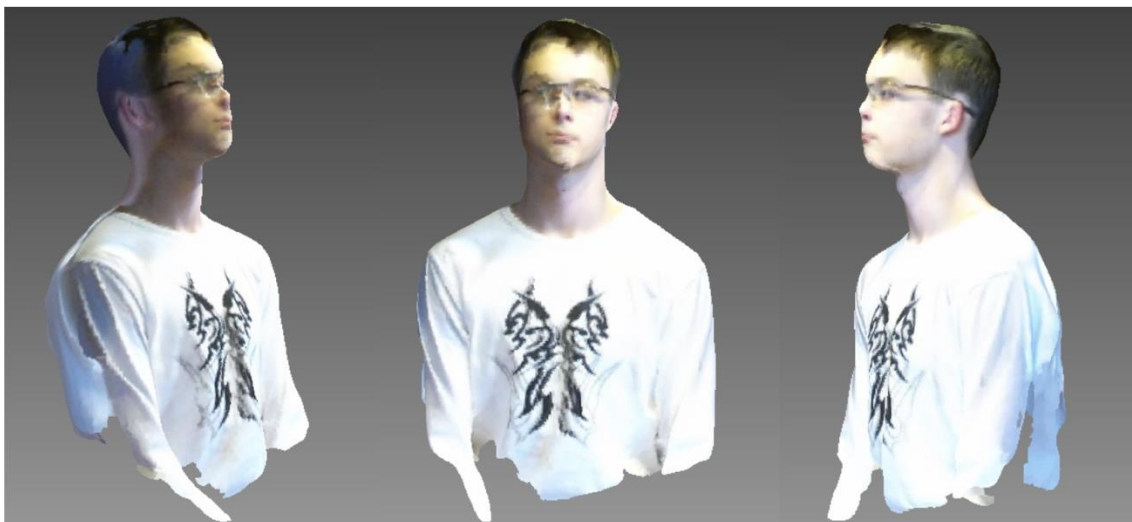


Obr. 34 3D model obličeje – Kinect 360, Scanect (zdroj: autor).

Skenování s Kinectem One bylo velmi podobné práci s Kinectem 360. Výsledkem prvního skenování na studentovi KGI byl perfektní model s lepší texturou než má Kinect 360 (Obr. 35). Při druhém testování s modelem, který měl brýle, už tak vydařená textura nebyla. Díky brýlím byla textura modelu dost deformovaná zvláště v oblasti očí (Obr. 36). Následně při posledním testování na modelu bez brýlí, byla výsledkem také ucházející textura.



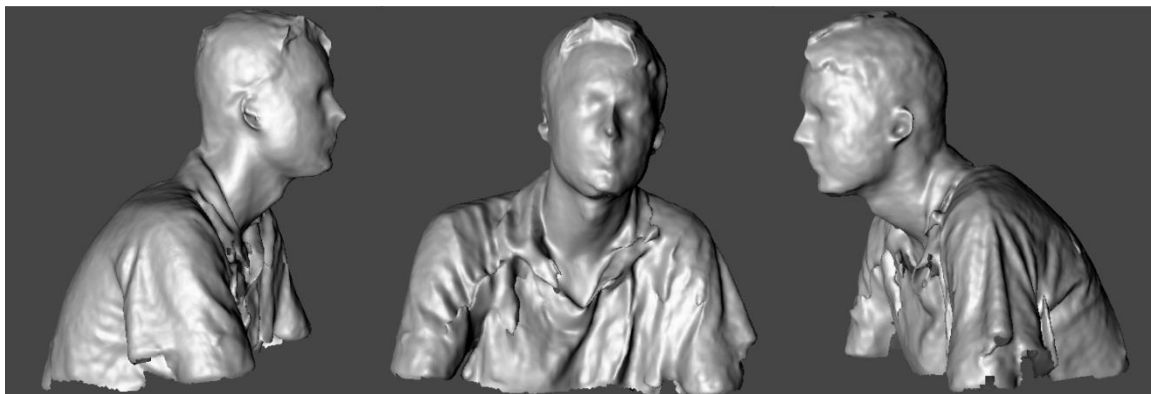
Obr. 35 3D model obličeje – Kinect One, KScan3D (zdroj: autor).



Obr. 36 3D model obličeje – Kinect One, KScan3D (zdroj: autor).

Práce se skenerem Asus Xtion probíhala bez problémů. Snímky se automaticky spojovaly a dávaly na své místo. Výsledkem je 3D model obličeje bez textury (Obr. 37). Jedinou chybou tohoto modelu je, že triko v některých místech nesedí. To mohlo být způsobeno i nepatrným pohnutím člověka během skenování. Proto je velmi důležité, aby se živé modely co nejméně hýbaly.

Při testování se softwarem Scanect bylo chybou nastavovat limitní čas, jelikož se nestihl naskenovat celý obličej. Díky tomu se nevytvořil závěrečný 3D model.



Obr. 37 3D model obličeje – Asus Xtion, KScan3D (zdroj: autor).

Testování se skenerem Scanify v softwaru Fuel3D Studio bylo trochu problémové. Díky nutnosti ořezávání všech snímků o terčik byla práce časově náročná. Výsledkem byl 3D model obličeje bez textury s mnoha nevzhlednými přechody mezi snímky (Obr. 38).



Obr. 38 3D model obličeje – Scanify, Fuel3D Studio (zdroj: autor).

8.3 Dřevěná židle

Při skenování židle s Kinectem 360 v softwaru KScan3D se většina snímků spojila sama automaticky. Někdy se ale stalo, že jeden vypadl a neuměl se sám správně přichytit. Proto bylo potřeba některé snímky manuálně dát na své místo. Snímky se musely ořezat o přebytečnou podlahu. Výsledkem je 3D model zobrazen na Obr. 39.

Testování v softwaru Scanect neproběhlo s kladným výsledkem. Opět nedošlo k vytvoření 3D modelu, jelikož uživatel byl rychlejší než skener, který nestihl vše zachytit. Následně se pak uživatel neuměl vrátit do předchozí polohy a díky tomu nedošlo k naskenování celé židle a do té doby naskenovaná část zanikla.



Obr. 39 3D model dřevěné židle – Kinect 360, KScan3D (zdroj: autor).

Skenování s Kinectem One v softwaru KScan3D bylo velmi podobné jako u Kinectu 360. Také se některé snímky správně nepřipojily. Výsledkem je opět texturovaný 3D objekt bez výraznějších chyb (Obr. 40).



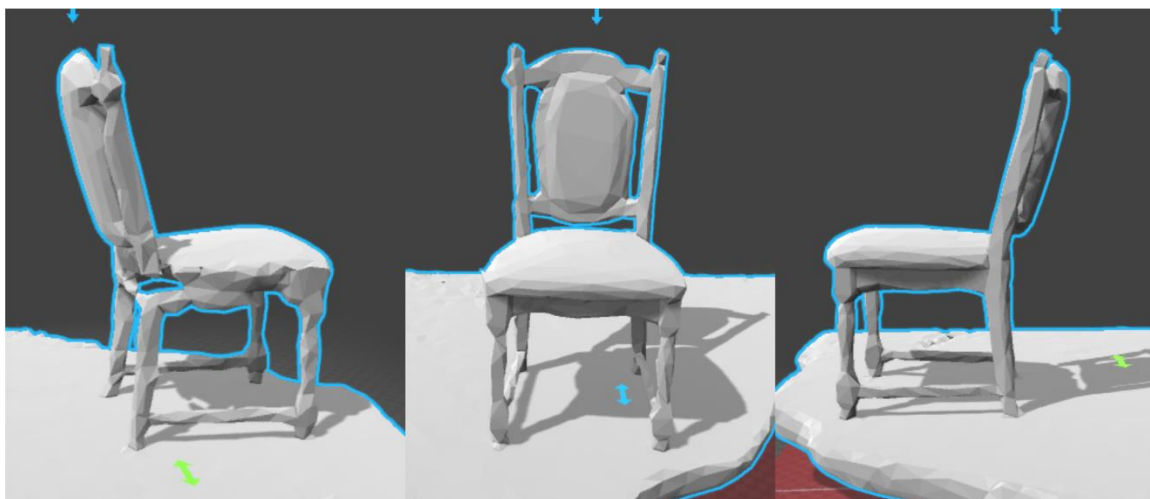
Obr. 40 3D model dřevěné židle – Kinect One, KScan3D (zdroj: autor).

Asus Xtion skenoval židli také v softwaru KScan3D. Na výsledném modelu (Obr. 41) lze vidět, že jsou deformovány nohy židle. Byla snaha se tohoto nezdaru zbavit pomocí jiného nastavení, ale přesto nebylo dosaženo lepšího výsledku.

Testování také probíhalo v softwaru Scanect, kdy výsledek nabyl podobných hodnot jako u testování obličeje pomocí Kinectu 360. 3D model byl opět velmi hranatý (Obr. 42), navíc v zadní části byla židle zřejmě špatně naskenována, a proto vznikl takový hrb s dírou. Také se zachytilo příliš mnoho plochy podlahy.



Obr. 41 3D model dřevěné židle – Asus Xtion, KScan3D (zdroj: autor).



Obr. 42 3D model dřevěné židle – Asus Xtion, Scanect (zdroj: autor).

8.4 Postava člověka

Skenování celé postavy člověka pomocí Kinectu 360 v softwaru KScan3D ukázalo problémy se spojením všech snímků. Vždy se spojily snímky pouze v jedné úrovni skenování. Bylo tedy nutné manuálně zasáhnout a snímky dát do správné polohy. Výsledkem testování je 3D model postavy člověka s trochu nepovedenýmnosem (Obr. 43).



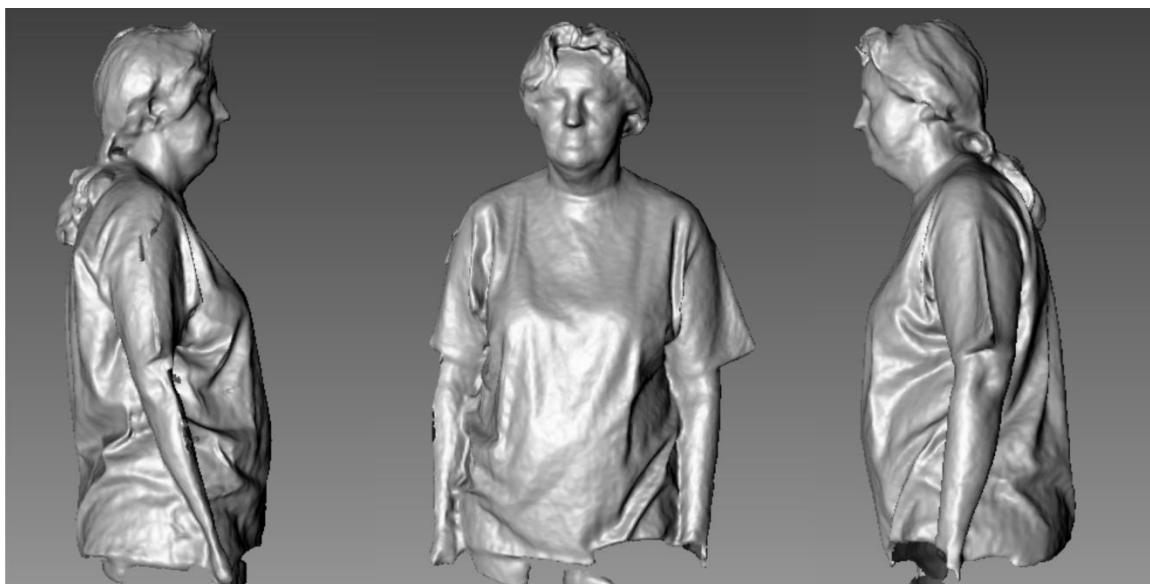
Obr. 43 3D model postavy člověka – Kinect 360, KScan3D (zdroj: autor).

Stejně jako v případě Kinectu 360 měl i Kinect One v softwaru KScan3D problém se správným spojením všech snímků. Po manuálním zásahu se vytvořil 3D model postavy člověka. Co se textury týče, jde vidět rozdíl v přední a zadní části (Obr. 44), který vznikl díky přímému slunečnímu záření, které svítilo do místnosti.



Obr. 44 3D model postavy člověka – Kinect One, KScan3D (zdroj: vlastní).

Po velmi krátké době testování se skenerem Asus Xtion bylo zjištěno, že snímky se opět spojují pouze ve stejné úrovni a zbytek se spojuje jinde. Bohužel v tomto případě došlo k pohnutí modelu. Z tohoto důvodu není model dokončen (Obr. 45). Přesto, že zde také svítilo přímé sluneční záření, na modelu to není nijak výrazně znát, jelikož je model bez textury.

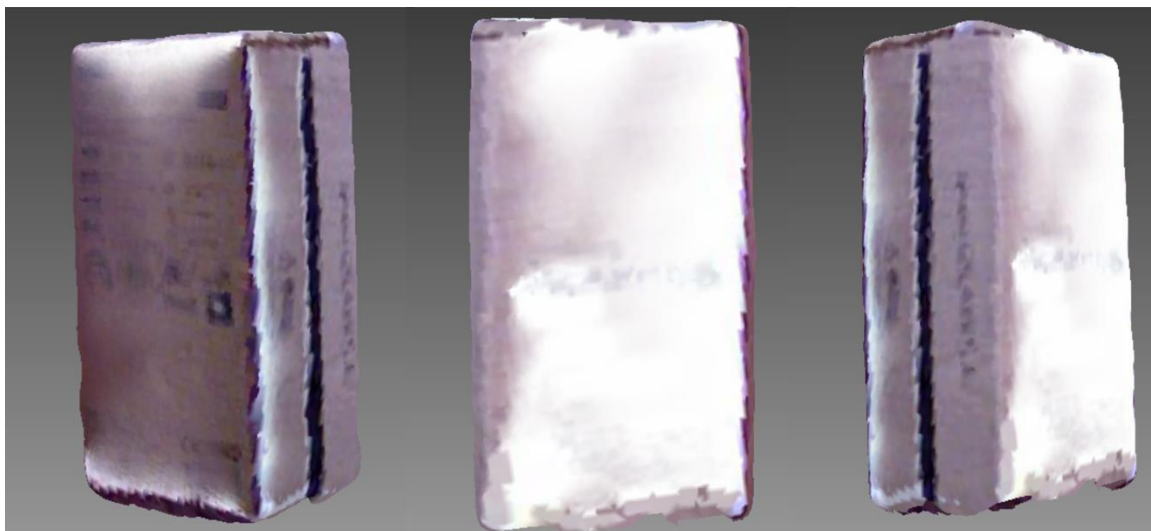


Obr. 45 3D model postavy člověka – Asus Xtion, KScan3D (zdroj: vlastní).

8.5 Pravidelná krabice

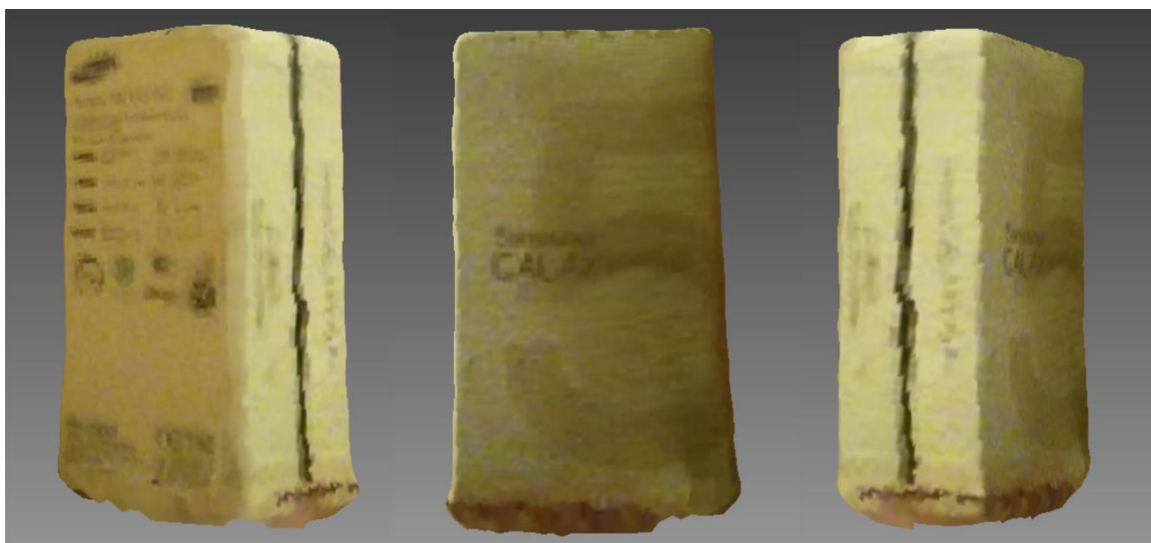
Skenování pravidelného objektu ve formě krabice pomocí Kinectu 360 v softwaru KScan3D probíhalo opět s komplikacemi. Tyto komplikace byly v automatickém spojení snímků, takže bylo potřeba manuálně zasáhnout. Jak je vidět na Obr. 46, má velmi

špatnou texturu, což v tomto případě nevadí, jelikož je objekt určen pro srovnání přesnosti skenerů.



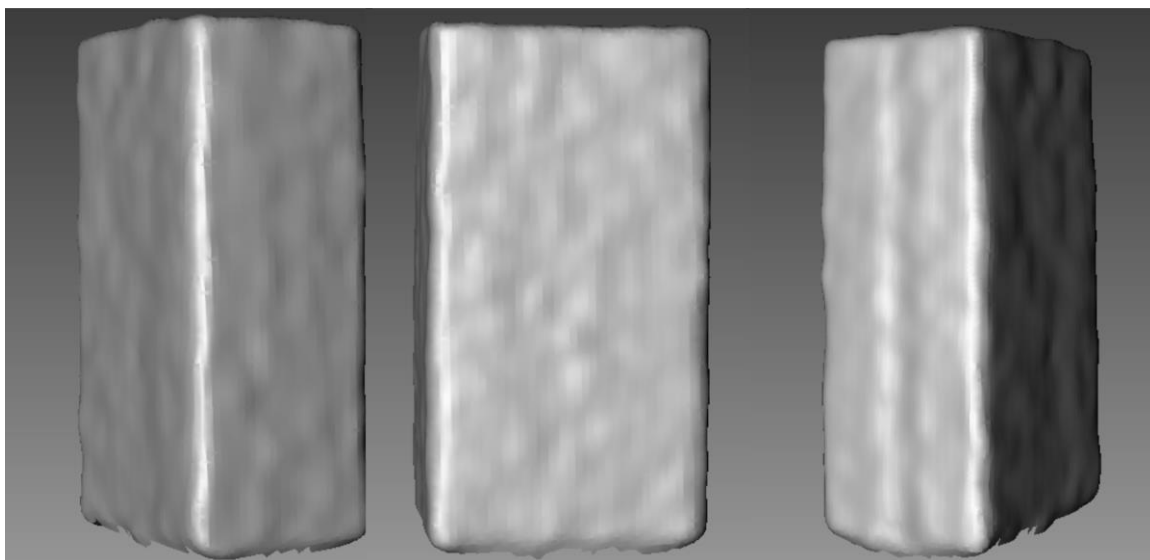
Obr. 46 3D model krabičky – Kinect 360, KScan3D (zdroj: autor).

Totéž skenování probíhalo pomocí Kinectu One a nastaly tytéž problémy se spojením snímků. Textura u tohoto objektu je lepší než u Kinectu 360, ale stále nemůžeme úplně přechíst, co se na krabičce píše (Obr. 47). Jak je také vidět, výsledný objekt je křivý.



Obr. 47 3D model krabičky – Kinect One, KScan3D (zdroj: autor).

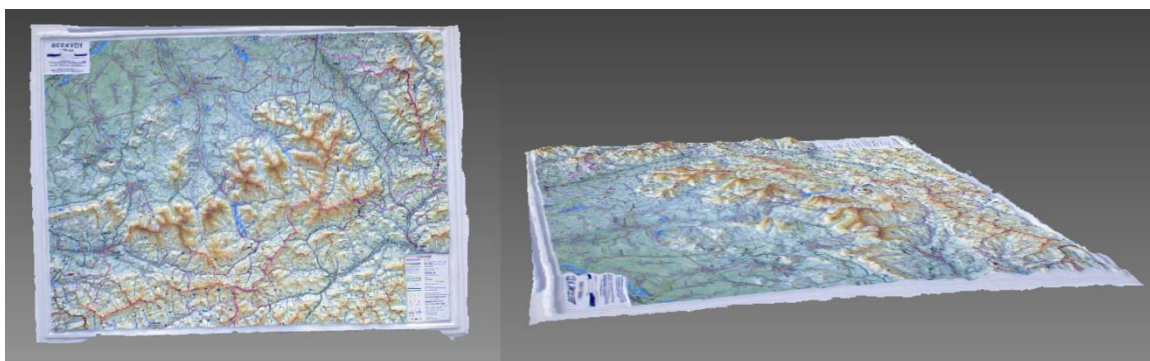
Poslední testování probíhalo pomocí Asusu Xtion v softwaru KScan3D. Výsledek je opět 3D model bez textury (Obr. 48).



Obr. 48 3D model krabičky – Asus Xtion, KScan3D (zdroj: autor).

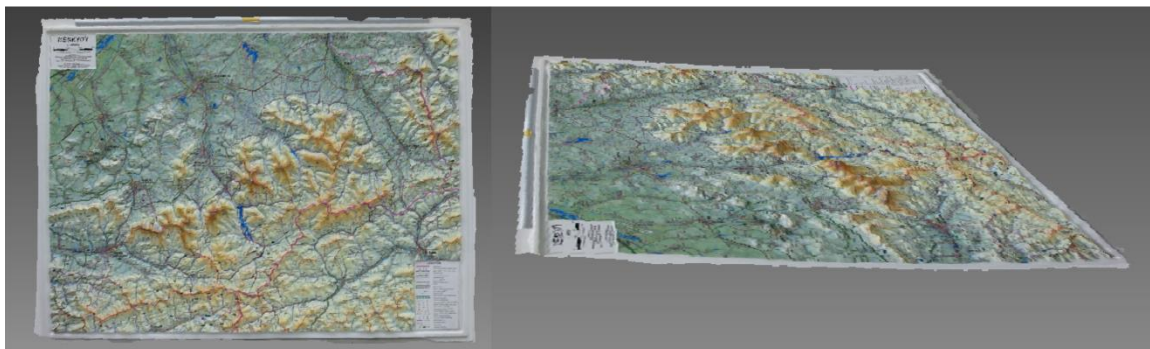
8.6 Reliéfní plastické mapy

Skenování plastické reliéfní mapy pomocí Kinectu 360 v softwaru KScan3D bylo velmi jednoduché. Díky tomu, že skener zachytí mapu celou, není potřeba spojení snímků. Výsledkem je například reliéfní mapa Beskyd, kde lze vidět vyzdvížené pahorky hor (Obr. 49).



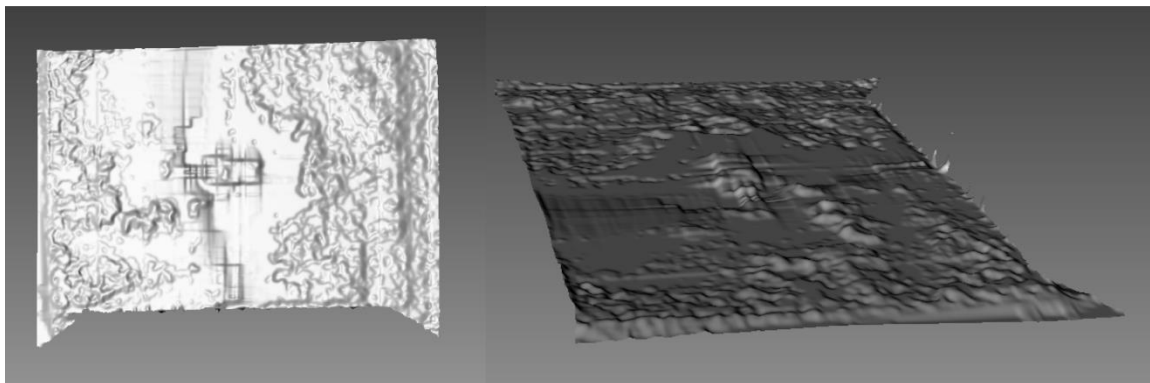
Obr. 49 Reliéfní mapa Beskyd – Kinect 360, KScan3D (zdroj: autor).

Testování skenerem Kinect One bylo stejné jako v předchozím případě. I zde lze vidět výsledek ve formě vyzdvížených pahorků Beskyd (Obr. 50).



Obr. 50 Reliéfní mapa Beskyd – Kinect One, KScan3D (zdroj: autor).

Poslední testování probíhalo s Asusem Xtion ve stejném softwaru jako u předchozích případů. Vzhledem k tomu, že skener neumí zachytit texturu, lze lépe vidět vyzdvížení pahorků (Obr. 51).



Obr. 51 Reliéfni mapa Beskyd – Asus Xtion, KScan3D (zdroj: autor).

8.7 Přesnost

Vyhodnocení probíhalo ve třech krocích. Prvním krokem bylo vyhodnocení přesnosti na povrchu krabičky, kde se porovnávaly hodnoty ve stejných místech. Dalším krokem bylo porovnání maximálních a minimálních hodnot. Posledním krokem bylo porovnání histogramů a nejčastějších hodnot.

Po srovnání hodnot na povrchu krabičky (Příloha 1a, 1b, 1c) si nejlépe vedl Kinect One a nejhůře Kinect 360. Ve výsledcích srovnání minim a maxim naopak nejhůře vyšel Kinect One a nejlépe Asus Xtion (Tab. 8.1).

V posledním srovnání vyšel nejlépe Kinect 360 s nejčastějšími hodnotami okolo 0,22 mm, druhý skončil Asus Xtion s hodnotami okolo 0,32 mm a nejhůře skončil Kinect One s hodnotami okolo 0,45 mm. Lze tedy říct, že zatímco Kinect 360 prohnul objekt do záporných hodnot, Asus Xtion a Kinect One se lišil oproti referenčnímu objektu tím, že objekt nadzvedl do kladných hodnot. Přesnost u Scanify se neměřila z důvodu nemožnosti naskenování pravidelného objektu.

Tab. 8.1 Parametry testování pravidelného objektu

	TEXTURA	VZDÁLENOST OD OBJEKTU	MINIMA/MAXIMA
Asus Xtion	ne	80 centimetrů	-2,37 / +5,87 mm
Kinect 360	ano	80 centimetrů	-5,95 / +3,51 mm
Kinect One	ano	80 centimetrů	-24,0 / +10,38 mm
Scanify	ano	40 centimetrů	-

Srovnání přesnosti na plastických reliéfních mapách probíhalo bez referenčního objektu. Šlo tedy srovnat, které skenery se v přesnosti nejvíce podobají.

Při srovnání hodnot na mapě Beskyd, Tater a České republiky vyšly nejmenší rozdíly mezi skenery Asus Xtion a Kinect 360, a to ve všech případech testovaných map. Stejně tak při porovnání minim a maxim se nejvíce podobaly výsledky Asusu Xtion a Kinectu 360 a největší rozdíly jsou pak mezi Asusem a Kinectem One (Tab. 8.2).

Tab. 8.2 Minima a maxima v jednotlivých reliéfních mapách

	BESKYDY	ČESKÁ REPUBLIKA	TATRY
Asus Xtion a Kinect 360	+15,81 / -18,09 mm	+19,95 / -13,38 mm	+17,65 / -15,33 mm
Asus Xtion a Kinect One	+28,95 / -22,57 mm	+28,91 / -15,98 mm	+29,99 / -29,27 mm
Kinect One a Kinect 360	+24,26 / -19,71 mm	+14,13 / -22,78 mm	+28,51 / -26,44 mm

8.8 Využitelnost

Co se týče využitelnosti skenerů Asusu Xtion, Kinectu 360 a Kinectu One, podle výsledků přesnosti by žádný z výše zmíněných skenerů neměl být doporučen pro reverzní inženýrství nebo například lékařství, protože jejich přesnost není pro tato odvětví dostačující. Naopak jsou tyto skenery vhodné pro výuku, volný čas, archeologii muzejnictví, 3D průmysl, počítačový průmysl, a to hlavně z finančního hlediska. Scanify doporučení využitelnosti nedostalo. Po testování se zjistilo, že skener je téměř nevyužitelný (Tab. 8.3). Z tohoto pohledu je drahou „hračkou“, která má velmi omezené možnosti použití, a to platí i v případě oficiálního softwaru Fuel3D Studio.

Tab. 8.3 Využitelnost skenerů

	GLOBUS	OBLIČEJ	POSTAVA	MAPA	KRABÍČKA	ŽIDLE
Asus Xtion	ne	ano	ano	ano	ano**	ano
Kinect 360	ne	ano	ano	ano	ano**	ano
Kinect One	ne	ano	ano	ano	ano**	ano
Scanify	ne	ano*	ne	ne	ne	ne

Vysvětlivky:

ano* ... skener neumí naskenovat celou hlavu, pouze obličej – problém s vlasy

ano** ... komplikace se spojením snímků, nutné manuální zásáhnutí

Využitelnost se dá také hodnotit podle toho, zda skener skenoval objekty s texturou nebo ne (Tab. 8.1). S texturou nejlépe skenoval Kinect One. Asus Xtion byl pak jediným zástupcem, který skenoval bez textury.

Při testování využitelnosti se také narazilo na nejružnější omezení skenerů. Nejčastěji to byla nemožnost skenování povrchu. Celkově měly skenery problém s lesklými a reflexními povrchy jako byly například kovové sošky. Tato komplikace by se dala vyřešit přestříkáním matným sprejem s vědomím, že je možné trvale poškodit předmět. Dále skenery neumí naskenovat objekty, které jsou hodně pravidelné, protože mají nedostatek vřícovacích bodů, pomocí kterých by se správně spojily. Příliš dutin a puklin na povrchu objektu ale také není vhodným povrchem pro tyto skenery. Takové povrchy se hodí spíše pro mechanické skenery se sondou nebo hrotem na mechanickém rameni. Průhledné objekty jako jsou sklenice nebo okna, jsou také na seznamu nenaskenovatelných objektů. Nejlépe se skenují objekty, které jsou barevně kombinované a mají nějakou zajímavou strukturu. Díky tomu, že jsou tyto skenery (kromě Scanify) určeny pro herní průmysl, umí velmi pěkně naskenovat postavu člověka.

8.9 Doporučení

Na základě výsledků skenování se skenery hodí pro střední a velké objekty. Ty by měly být velikostně větší než dvacet centimetrů na výšku a deset centimetrů na šířku (Tab. 8.4). S menšími objekty byl u skenování problém, jelikož se snímky neuměly zachytit nebo následně spojit. Komplikace také nastaly s objekty, které byly vysoké, ale úzké (například úzké vázy). Stejně jako v předchozím případě se snímky neuměly spojit. Nedoporučuje se také skenovat velmi velké objekty z důvodu následných softwarových problémů s velkým množstvím snímků.

Tab. 8.4 Doporučená velikost objektů

	MALÉ OBJEKTY	STŘEDNÍ OBJEKTY	VELKÉ OBJEKTY	VELMI VELKÉ OBJEKTY
Výška	do 20 cm	20–50 cm	50–180 cm	od 180 cm
Šířka	do 10 cm	10–25 cm	25–90 cm	od 90 cm
Příklad	váza, hrnek, malá krabice	globus, obličej, lampa, socha	postava, židle, stůl	auto, postel

Nejvhodnější podmínky pro skenování by byly v případě rovnoměrného nasvícení objektu. To hlavně u skenerů, které podávají informace o textuře, protože pokud není objekt nasvícen stejně, vznikají různé odstíny stejných barev v textuře objektu. Proto je nutné vyvarovat se špatně nasvíceným místnostem a vyhledávat spíše místnosti s více okny. Neměly by do místnosti svítit přímé sluneční paprsky. Díky tomuto omezení jsou skenery nevhodné do terénu a jsou určeny spíše pro interiér. Velkou výhodou má Scanify, který obsahuje tři blesky pro osvětlení předmětu. Co se týče velikosti místnosti, hodně záleží na velikosti objektu a doporučené skenovací vzdálenosti od skeneru. Je potřeba, aby okolo skenovaného objektu bylo dostatek místa pro skenování a dodržení minimální vzdálenosti. Také by se zde neměly nacházet přebytečné předměty, aby se zamezilo následnému zachycení cizího předmětu a špatnému uchycení snímků.

Nelze říct, jaké je nejvhodnější nastavení softwarových prostředků. Pro každý objekt, stejně tak pro uživatele, je nastavení spíše individuální a záleží, co uživateli více vyhovuje.

V rámci uživatelské přívětivosti se nejlépe pracovalo s oběma Kinecty a softwaru KScan3D. Scanify i Asus Xtion měl omezení v krátkém USB nebo napájecím kabelu, což bylo velkou nevýhodou při práci. Prostředí programu KScan3D bylo uživatelsky přívětivé a velmi jednoduché na ovládání. Co se týče metody, přátelštější byla metoda „Mesh“, kdy se skenerem chodí okolo objektu. Naopak práce v softwaru Scanect byla stresující, jelikož při zapnutí skenování skener snímal kontinuálně. Když šel uživatel rychleji než skener, musel se uživatel vrátit do poslední polohy, aby skener stihl zachytit objekt. To se v mnoha případech nepodařilo a muselo se začít se skenováním znovu. Fuel3D studio bylo sice uživatelsky přívětivější než Scanect, ale po práci s ním bylo zjištěno, že se dost liší podporovanými funkcemi v jednotlivých verzích, což mnohdy uživatele dost omezovalo.

9 DISKUZE

Práce byla zaměřena na srovnání přesnosti a využitelnosti low-cost 3D skenerů. U testování využitelnosti byla zjištěna mnohá omezení těchto skenerů, hlavně co se týče velikosti nebo typu skenovaného objektu.

Na jeden z největších problémů se přišlo při skenování školního globusu, kdy skenery měly problém se zachycením kovového půl poledníku. Proto se následně vyměnil typ globusu za celoplastovou verzi. Další komplikací byla nemožnost softwaru spojovat pravidelné objekty. Díky tomu nedošlo ke správnému spojení snímků. Byla zde snaha pomocí manuálního zásahu snímky spojit, bohužel textura nebyla natolik dobrá, aby se na jejím základě snímky spojovaly. Navíc v případě Asus Xtion, který skenuje bez textury, by tento pokus nemožný.

Další komplikace se objevily u skeneru Scanify, který neuměl zachytit celou hlavu člověka. Má totiž problém naskenovat vlasy nebo vousy. Komplikací bylo i používání terčíku. Člověk, který pózuje, neumí držet tento terčík vzadu u hlavy.

U skenování židle byl asi největší komplikace s nohama. Ty byly hodně úzké a skenery je měly mnohdy problém naskenovat. Největší problém měl Asus Xtion.

Testování celé postavy člověka byl sám o sobě problém. Hlavně pokud uživatel skeneru byl menší než jeho pózující model, takže se často zapomínalo naskenovat hlavu shora. Další komplikací bylo nespojení snímků, což bylo problémem u všech typů skenerů.

Když se skenovala pravidelná krabička, byl zde opět problém se správným spojením snímků. To bylo způsobeno malým počtem vřícovacích bodů, díky kterým by se snímky správně spojily.

Komplikace byly ale i s technikou. Konkrétně Scanify byl nepraktický díky krátkému napájecímu kabelu a také minimální vzdálenosti od objektu. To vedlo k potřebě více snímků objektu, které následně software neuměl zpracovat. U Asus byl podobný problém a to s USB kabelem, který byl rovněž velmi krátký. Tento skener byl velmi lehký a výhodou je, že nepotřebuje napájecí kabel, ale přesto bylo potřeba přenosného notebooku. To byl problém, pokud notebook vážil pět kilo a je ho potřeba držet společně se skenerem. Řešením by bylo prodloužení USB kabelu nebo využití další pomocné osoby.

Během práce se softwary se narazilo nejčastěji na problém s licencemi. Konkrétně se Scanectem se přestalo v průběhu skenování pracovat, protože program jako takový nelze uložit a později v něm nelze skeny upravit. Velmi stresující pak bylo samotné skenování. Díky tomu, že Scanect pracuje se skenerem celou dobu a nevytváří jakési snímky, bylo potřeba se pohybovat pomalu, což bylo mnohdy časově více náročné. Pokud je totiž uživatel rychlejší než skener zachycující objekt, musí se uživatel vrátit do původní polohy. A to bylo často nemožné. Dalším problémem byl export, který byl omezen jen na 5000 polygonů, takže se z krásného 3D objektu stal hranatý deformovaný model, což by velice ovlivnilo výsledky přesnosti.

U Fuel3D Studia by se na problém s licencemi nepřišlo, kdyby byla koupená licence přenosná. Hlavním problémem bylo, že zaplacený software byl nainstalovaný pouze v počítači ve Vědeckotechnickém parku. Ten byl bohužel v místnosti, kde je spousta tiskáren a málo místa. Navíc při zpracování více snímků počítač tyto nároky nezvládal. Proto se pracovalo s více typy verzí, které byly mnohdy různě omezené.

Testování přesnosti pak probíhalo pouze na třech typech skenerů. Problémem byl Scanify, který měl problém s testováním na více předmětech. Díky tomu, že neumí naskenovat pravidelný objekt, nebylo možné s ním počítat pro srovnání přesnosti.

Přesnost ostatních skenerů pak byla srovnána na pravidelném objektu a na plastických reliéfních mapách. Vzhledem k tomu, že skenery neumí úplně přesně spojit pravidelné objekty, byly spojovány manuálně. Díky tomuto omezení mohlo být srovnání přesnosti ovlivněno uživatelem. Dále byla nastavena maximální hodnota odchylky na 3 cm, jelikož větší chybu by skenery mít neměly. Zvláště v případě map, kde by tři centimetry hrály zásadní rozdíl.

V budoucnu by toto vyhodnocení přesnosti mohlo být postaveno na základě porovnání s profesionálním skenerem ATOS Core od společnosti GOM, který se nachází ve Vědeckotechnickém parku v Olomouci. Ačkoliv vyhodnocení přesnosti této práce bylo oproti referenčnímu objektu, mohlo by být velice pozoruhodné, jak by si v tomhle ohledu vedl profesionální skener. Následná magisterská práce by mohla vytisknout tyto 3D modely na 3D tiskárně. Vzhledem k tomu, že není tak těžké si takový 3D skener sám vyrobit a složit, bylo by také zajímavé se ubírat i tímto směrem v navazující práci, kde by se musela vyladit přesnost a všechny ostatní komplikace tohoto skeneru.

Využití těchto výsledků testování by mohla zužitkovat především firma Fuel3D, která by mohla zapracovat na problémech, na které se narazilo při testování se skenerem Scanify. Dále by tyto skenery mohly mít velké využití hlavně v 3D průmyslu. Bylo by poutavé naskenovat celého člověka a vytisknout ho pomocí 3D tiskárny. Pro školy by se mohly udělat 3D tabla, které by mohly být originální. Naskenovat by se také daly pomůcky pro výuku a pomocí kterých by se následně dalo interaktivně vyučovat.

Potenciální využití by mohly mít skenery také v archeologii nebo v muzeích. V dnešní době je totiž hodně věcí interaktivních, proto by se mohly některé artefakty naskenovat a zobrazit v muzeích interaktivně. Každý člověk by je mohl otočit, jak by chtěl, přiblížit apod. Ano je možné, že tyto skenery nejsou k tomu úplně ideální, ale pokud by se objekty detailně naskenovaly a fotoaparátem by se k tomu přidala textura, mohl by být z toho zajímavý projekt. Zamezilo by se pak třeba tomu, že se historické předměty opotřebovávají, když na ně lidé sahají, a také by se ušetřily finance, které se dnes utrácí za drahé kopie těchto historických předmětů.

10 ZÁVĚR

Hlavním cílem této bakalářské práce bylo srovnat přesnost a využitelnosti low-cost 3D skenerů. Dalším cílem bylo sepsání závěrečného doporučení vycházejícího z poznatků během testování. To by mělo obsahovat doporučení velikosti objektu, optimálního nastavení softwaru a optimálních podmínek pro skenování.

V textové části bylo potřeba se věnovat rešerši současného stavu problematiky, dále se studovaly vybrané skenery, z čeho jsou složeny a na jakém principu fungují.

V praktické části se pak skenovaly konkrétní objekty, které definovaly omezení skenerů a jejich potencionální využitelnost. Také se v této části testovalo optimální nastavení softwaru, které byly popsány metodou jednoduchého návodu. Následně byla na pravidelném objektu testována přesnost vůči referenčnímu objektu. Tato přesnost byla testována na skenerech Kinect 360, Kinect One a Asus Xtion. Se Scanify se v této části nepracovalo, díky nemožnosti skenování pravidelného objektu. Testování probíhalo ve třech krocích. Prvním krokem bylo zhodnocení hodnot na přední straně objektu, kde si nejlépe vedl Kinect One a nejhůře Kinect 360. Dalším krokem bylo zhodnocení minimálních a maximálních hodnot. Nejmenší rozdíl mezi těmito hodnotami měl Asus Xtion a největší rozdíl měl Kinect One. Posledním krokem bylo zhodnocení histogramu. Kinect 360 s nejčastějšími hodnotami okolo -0,22 mm získal první místo, druhý skončil Asus Xtion 0,32 mm a nejhůře Kinect One s hodnotami okolo 0,45 mm. Díky tomuto zhodnocení jsme se dozvěděli, že zatímco Kinect 360 prohnul objekt do záporných hodnot a objekt byl spíše menší, ostatní dva skenery předmět nadzvedly a byl větší než referenční objekt. Vyhodnocení přesnosti také probíhalo na srovnání plastických reliéfních map. Zde se hodnotilo, který skener se se svými výsledky nejvíce podobá jinému. Hodnotily se zde dvě kategorie, hodnoty na mapách a minimální a maximální hodnoty. Ve všech těchto disciplínách se nejvíce podobaly Asus Xtion a Kinect 360.

Co se týče závěrečného doporučení, výše jmenované skenery se hodí spíše pro výuku, volný čas, 3D průmysl a počítačový průmysl. Rozhodně se nehodí do lékařství nebo reverzního inženýrství, protože nemají dostatečnou přesnost. Z výsledků přesnosti nelze říct, který ze skenerů je nejpřesnější, dá se ale konstatovat, že ne vždy vyšší rozlišení znamená vyšší přesnost. U charakteristiky skenovaných objektů by mělo být doporučení velikosti pro objekty střední a velké velikosti, to znamená od 20 do 180 cm na výšku a 10 až 90 cm na šířku. Takovými objekty mohou být například školní globus, lampa, socha, obličej a postava člověka nebo židle. Skenery nedokáží naskenovat lesklé, kovové, transparentní, pravidelné a reflexní objekty. Dále nejsou vhodné pro velmi složité objekty s dutinami a otvory. Co se týče optimálních podmínek pro skenování, nejlepší by bylo perfektní nasvícení objektu, aby nedocházelo k deformaci odstínů barev na textuře. Nedoporučuje se skenování za přímého slunečního světla, nebo v málo osvětlené místnosti. Skenery jsou tedy spíše pro interiérové použití. Místnost by měla být dostatečně velká a neměly by se okolo předmětu skenování nacházet přebytečné předměty. Co se týče optimálního nastavení softwaru, záleží, co vyhovuje uživateli a jaký typ objektu skenuje.

Výsledky této práce mohou být použity v dalších bakalářských a magisterských pracích jako odrazový můstek k tématu 3D skenování. Práce může sloužit jako návod či doporučení pro skenování.

POUŽITÁ LITERATURA A INFORMAČNÍ ZDROJE

3D skenování v archeologii a restaurátorství. *Skenování ve 3D* [online]. ABBAS, a.s., 2016a [cit. 2016-01-21]. Dostupné z: <<http://www.skenovanive3d.cz/skenovani/kde-skener-vyuzit/archeologie/>>

3D skenování v průmyslu. *Skenování ve 3D* [online]. ABBAS, a.s., 2016b [cit. 2016-01-21]. Dostupné z: <<http://www.skenovanive3d.cz/skenovani/kde-skener-vyuzit/prumysl/>>

BROS, Martin. *Ovládanie webovej aplikácie pomocou pohybového senzora* [online]. Žilina, 2013 [cit. 2016-01-22]. Dostupné z: <<http://broslan.info/motion/files/BP361-12-martin-bros.pdf>>. Bakalářská práce. Žilinská univerzita v Žilině, Fakulta riadenia a informatiky. Vedoucí práce Ing. Patrik Hrkút, PhD.

Framework. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2016-01-22]. Dostupné z: <<https://www.wikiwand.com/cs/Framework/>>

Get Skanect. *Skanect* [online]. 2016 [cit. 2016-04-02]. Dostupné z: <<http://skanect.occipital.com/download/>>

GOM Inspect Download. *GOM* [online]. 2016 [cit. 2016-04-2]. Dostupné z: <<http://www.gom.com/3d-software/gom-inspect/download.html/>>

GRATZA, Patrik. *Porovnání technologií pro 3D skenování*. Ostrava, 2015. Bakalářská práce. VŠB - Technická univerzita Ostrava, Fakulta metalurgie a materiálového inženýrství. Vedoucí práce Ing. Vladimír Zbožínek.

HAGARA, Ladislav. *Kinect pro Xbox 360 a GNU/Linux – Úvod* [online]. 2011 [cit. 2015-11-25]. Dostupné z: <<http://www.abclinuxu.cz/clanky/kinect-pro-xbox-360-a-gnu-linux-uvod/>>

JANÁS, Lukáš. *Využití senzoru Kinect pro detekci osob* [online]. Brno, 2012 [cit. 2016-01-22]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=69175/>. Bakalářská práce. Vysoké učení Technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. Vedoucí práce Ing. Jiří Přinosil, Ph.D.

JAVŮREK, Karel. *Xbox One: technologický rozbor nového hardwaru* [online]. 2013 [cit. 2015-11-25]. Dostupné z: <<http://www.zive.cz/clanky/xbox-one-technologicky-rozbor-noveho-hardwaru/vsudypritomny-kinect-20/sc-3-a-168957-ch-86935/default.aspx/>>

Kinect for Windows SDK 2.0. *Microsoft* [online]. 2016 [cit. 2016-01-21]. Dostupné z: <<https://www.microsoft.com/en-us/download/details.aspx?id=44561/>>

Kinect tools and resources. *Microsoft* [online]. 2016 [cit. 2016-01-21]. Dostupné z: <<https://developer.microsoft.com/en-us/windows/kinect/tools/>>

KSCAN3D. *KSCAN3D* [online]. LMI Technologies Inc, 2016 [cit. 2016-05-03]. Dostupné z: <<http://www.kscan3d.com/>>

KUMPÁN, Pavel. *Vytvoření 3D modelu prostředí pomocí senzoru Kinect*. Brno, 2014. Bakalářská práce. Vysoké učení Technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Vedoucí práce Ing. Michal Růžička.

Middleware. *Management Mania* [online]. 2012 [cit. 2016-01-22]. Dostupné z: <<https://managementmania.com/cs/middleware/>>

NAVRÁTIL, Robert. Principy digitalizace. *Robo.hyperlink.cz* [online]. 2000 [cit. 2016-01-21]. Dostupné z: <<http://robo.hyperlink.cz/3dskenery/main03.html>>

PAGÁČ, Marek. Skener Scanify obdržel ocenění za inovaci na CES 2015. *Konstrukter* [online]. 2015 [cit. 2016-01-22]. Dostupné z: <<http://www.konstrukter.cz/2015/03/19/skener-scanify-obdrzel-oceneni-za-inovaci-na-ces-2015/>>

SKOUPÝ, Pavel. *3D optické měřicí a skenovací přístroje pro strojírenství* [online]. Brno, 2007 [cit. 2016-01-21]. Dostupné z: <http://old.uk.fme.vutbr.cz/zobraz_soubor1075.pdf?id=264>. Bakalářská práce. Vysoké učení Technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Vedoucí práce Ing. David Paloušek.

SZYMCZYK, Matthew. How Does The Kinect 2 Compare To The Kinect 1? *Zugara* [online]. 2015 [cit. 2016-01-21]. Dostupné z: <<http://zugara.com/how-does-the-kinect-2-compare-to-the-kinect-1/>>

ŠNAJDÁREK, Ladislav. Metody 3D laserového skenování obrobků ve výrobním procesu [online]. Brno, 2008 [cit. 2016-01-21]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=6001/>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Vedoucí práce Ing. Miroslav Opl.

TESAŘ, Jan. *Fit me – snímání pozic pomocí kamery Kinect* [online]. Kladno, 2011 [cit. 2015-11-25]. Dostupné z: <http://webzam.fbmi.cvut.cz/hozman/TPR/20112012/Z_Tesar.pdf/>. Týmový projekt. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta biomedicínského inženýrství. Vedoucí práce Mgr. Radim Krupička.

User Manual: SCANIFY F3D2001 [online]. FUEL3D, 2015 [cit. 2016-01-22]. Dostupné z: <http://www.desktop3dprinter.com/user/pdf/Manuals/SCANIFY-User-Manual_Version-1.pdf>

VINKLER, Michal. *Využití pohybového snímače Kinect ve virtuální realitě* [online]. Brno, 2012 [cit. 2015-11-25]. Dostupné z: <http://is.muni.cz/th/208036/fi_m/DP_text.pdf>. Diplomová práce. Masarykova univerzita, Fakulta informatiky. Vedoucí práce Mgr. Jiří Chmelík.

Využití 3D skenování v lékařství. *Skenování ve 3D* [online]. ABBAS, a.s., 2016c [cit. 2016-01-21]. Dostupné z: <<http://www.skenovani3d.cz/skenovani/kde-skener-vyuzit/lekarstvi/>>

What's New in the October 2014 Kinect for Windows version 2.0 SDK. *Microsoft* [online]. 2016 [cit. 2016-01-21]. Dostupné z: <<https://msdn.microsoft.com/en-us/library/dn782041.aspx?f=255&MSPPErrors=-2147217396>>

WEIDNER, Lukáš. Trojrozměrné skenovací systém. Brno, 2015. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Vedoucí práce Ing. Aneta Zatočilová.

XTION PRO. ASUS [online]. Taiwan, 2015 [cit. 2016-01-22]. Dostupné z: <http://www.asus.com/3D-Sensor/Xtion_PRO/specifications/>

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Schéma rozdělení typů skenerů	15
Obr. 2 Kontaktní skener MicroScribe	15
Obr. 3 Bezkontaktní skener Artec EVA	16
Obr. 4 Mobilní ruční skener HandyScan	16
Obr. 5 Stacionární skener od firmy RangeVision	17
Obr. 6 Laserový skener Freestyle 3D	17
Obr. 7 Optický skener ATOS Triple Scan	18
Obr. 8 Rentgenový skener TomoScope	19
Obr. 9 Ultrazvukový skener SonixEmbrace	19
Obr. 10 Popis Microsoft Kinectu 360	20
Obr. 11 Porovnání velikostí Kinectu 360 a Kinectu One	22
Obr. 12 Asus Xtion od společnosti Asus	23
Obr. 13 Fuel3D Scanify od společnosti Fuel	24
Obr. 14 KScan3D – znovu připojení skeneru	26
Obr. 15 KScan3D – vytvoření nového projektu	27
Obr. 16 KScan3D – nastavení skenování	27
Obr. 17 KScan3D – spojené skeny po operaci Combine	28
Obr. 18 KScan3D – nastavení vyhlazení, vyplnění děr a vytvoření finálního objektu....	29
Obr. 19 Scanect – vytvoření nového projektu a jeho nastavení	30
Obr. 20 Scanect – nastavení snímkování	31
Obr. 21 Scanect – záložka "Reconstruct"	31
Obr. 22 Scanect – export 3D objektu	32
Obr. 23 Fuel3D Studio – okýnko "Viewfinder"	33
Obr. 24 Fuel3D Studio – hlavní menu pro úpravu snímků	33
Obr. 25 Fuel3D Studio – označení a ořezání kladné oblasti	34
Obr. 26 Fuel3D Studio – mód spojování snímků	34
Obr. 27 Vložení nominálních dat v GOM Inspect	42
Obr. 28 Funkce Prealignment v softwaru GOM Inspect	43
Obr. 29 Výsledek funkce "Surface Comparition on Actual"	43
Obr. 30 Výsledek skenování školního globusu – Kinect 360, KScan3D	45
Obr. 31 Výsledek skenování školního globusu – Kinect One, KScan3D	45
Obr. 32 Výsledek skenování školního globusu – Asus Xtion, KScan3D	46
Obr. 33 3D model obličeje – Kinect 360, KScan3D	46
Obr. 34 3D model obličeje – Kinect 360, Scanect	47
Obr. 35 3D model obličeje – Kinect One, KScan3D	47
Obr. 36 3D model obličeje – Kinect One, KScan3D	48
Obr. 37 3D model obličeje – Asus Xtion, KScan3D	48
Obr. 38 3D model obličeje – Scanify, Fuel3D Studio	49
Obr. 39 3D model dřevěné židle – Kinect 360, KScan3D	49
Obr. 40 3D model dřevěné židle – Kinect One, KScan3D	50
Obr. 41 3D model dřevěné židle – Asus Xtion, KScan3D	50
Obr. 42 3D model dřevěné židle – Asus Xtion, Scanect	51

Obr. 43 3D model postavy člověka – Kinect 360, KScan3D	51
Obr. 44 3D model postavy člověka – Kinect One, KScan3D	52
Obr. 45 3D model postavy člověka – Asus Xtion, KScan3D	52
Obr. 46 3D model krabíčky – Kinect 360, KScan3D	53
Obr. 47 3D model krabíčky – Kinect One, KScan3D	53
Obr. 48 3D model krabíčky – Asus Xtion, KScan3D	54
Obr. 49 Reliéfní mapa Beskyd – Kinect 360, KScan3D	54
Obr. 50 Reliéfní mapa Beskyd – Kinect One, KScan3D	54
Obr. 51 Reliéfní mapa Beskyd – Asus Xtion, KScan3D	55

SEZNAM TABULEK

Tab. 8.1 Parametry testování pravidelného objektu.....	55
Tab. 8.2 Minima a maxima v jednotlivých reliéfních mapách.....	56
Tab. 8.3 Využitelnost skenerů	56
Tab. 8.4 Doporučená velikost objektů.....	57

PŘÍLOHY

SEZNAM PŘÍLOH

Vázané přílohy

- Příloha 1a Srovnání přesnosti na pravidelném objektu – Asus Xtion
- Příloha 1b Srovnání přesnosti na pravidelném objektu – Kinect 360
- Příloha 1c Srovnání přesnosti na pravidelném objektu – Kinect One
- Příloha 2a Srovnání přesnosti na reliéfní mapě Beskyd – Asus Xtion a Kinect 360
- Příloha 2b Srovnání přesnosti na reliéfní mapě Beskyd – Asus Xtion a Kinect One
- Příloha 2c Srovnání přesnosti na reliéfní mapě Beskyd – Kinect One a Kinect 360
- Příloha 3a Srovnání přesnosti na reliéfní mapě Tater – Asus Xtion a Kinect 360
- Příloha 3b Srovnání přesnosti na reliéfní mapě Tater – Asus Xtion a Kinect One
- Příloha 3c Srovnání přesnosti na reliéfní mapě Tater – Kinect One a Kinect 360
- Příloha 4a Srovnání přesnosti na reliéfní mapě České republiky – Asus Xtion a Kinect 360
- Příloha 4b Srovnání přesnosti na reliéfní mapě České republiky – Asus Xtion a Kinect One
- Příloha 4c Srovnání přesnosti na reliéfní mapě České republiky – Kinect One a Kinect 360

Volné přílohy

- Příloha 1 Poster
- Příloha 2 DVD

Popis struktury DVD

Adresáře:

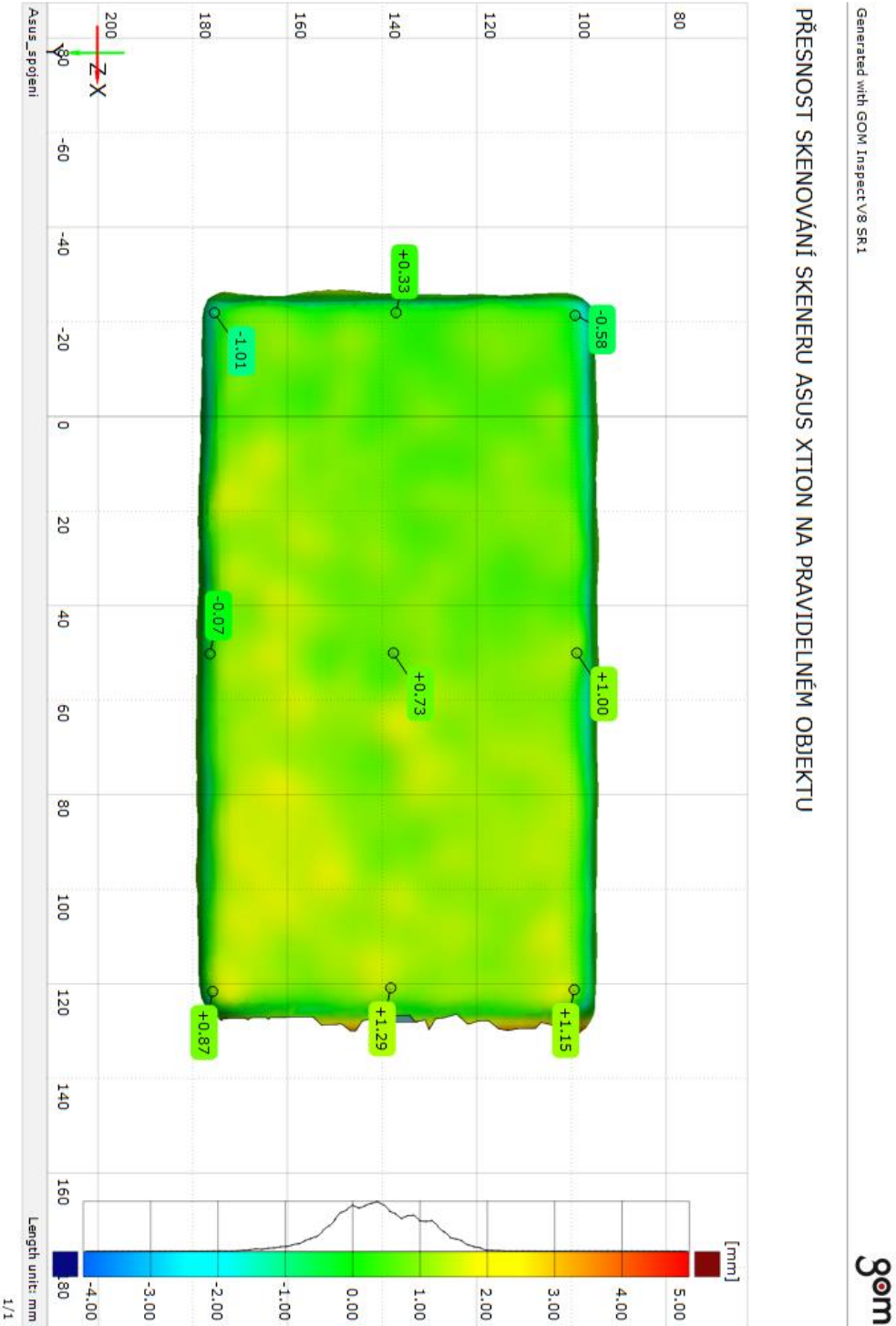
Text_Prace - dokument ve formátu PDF obsahující textovou část bakalářské práce

Vystupni_Data – adresář obsahující naskenované 3D modely a výsledky přesnosti a využitelnosti skenerů

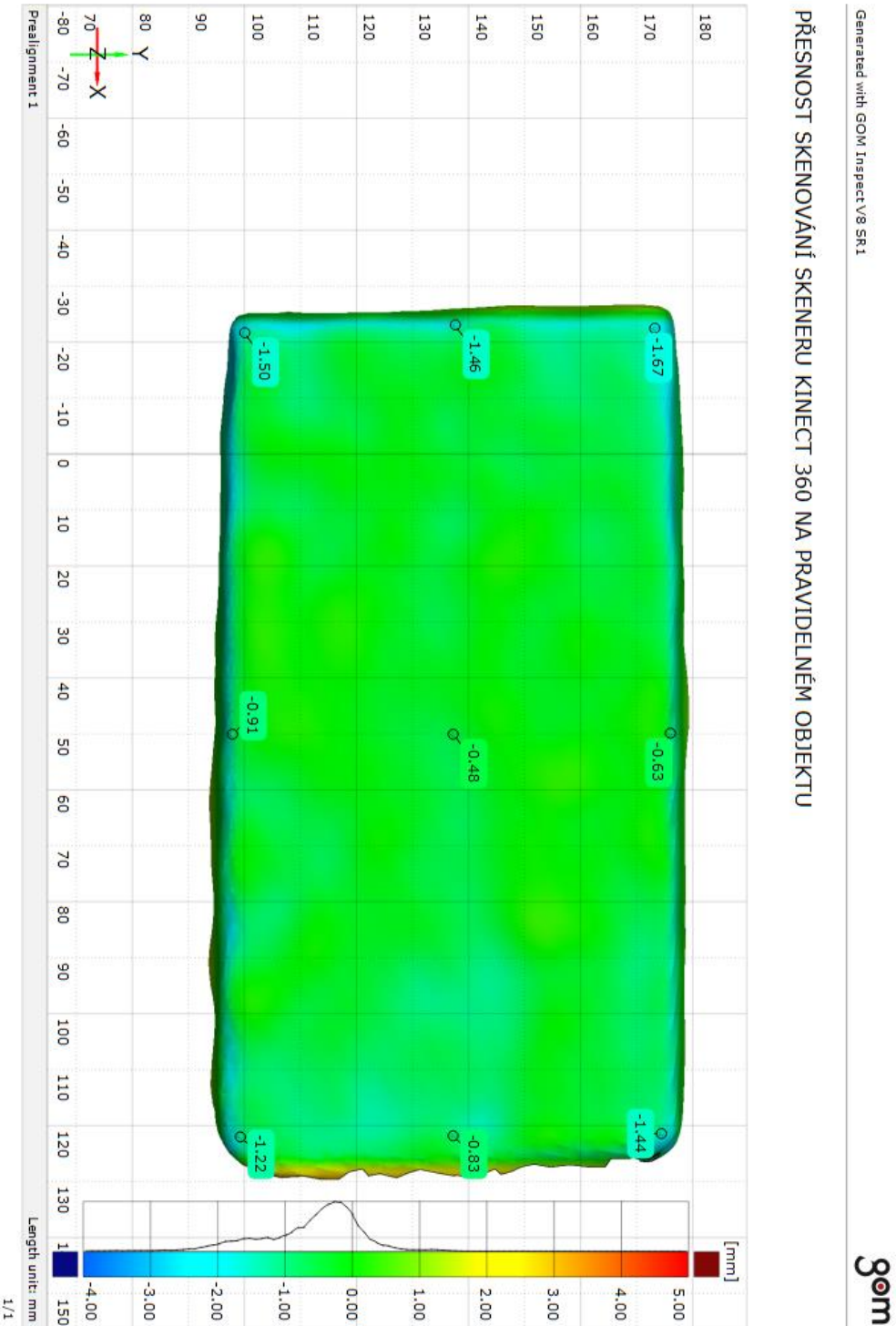
WEB – adresář obsahující webové stránky za účelem prezentace bakalářské práce

Příloha 1a

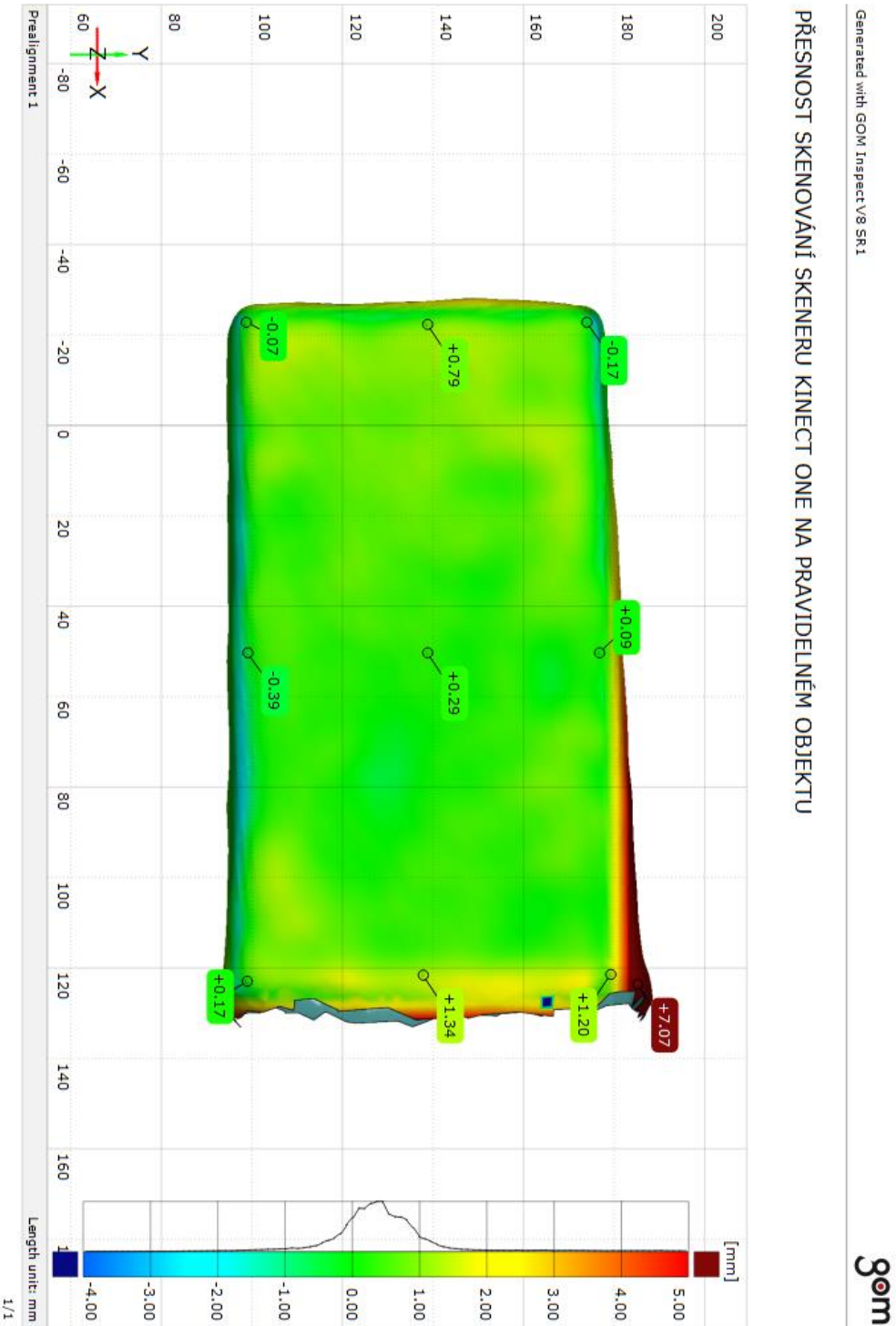
Srovnání přesnosti na pravidelném objektu – Asus Xtion



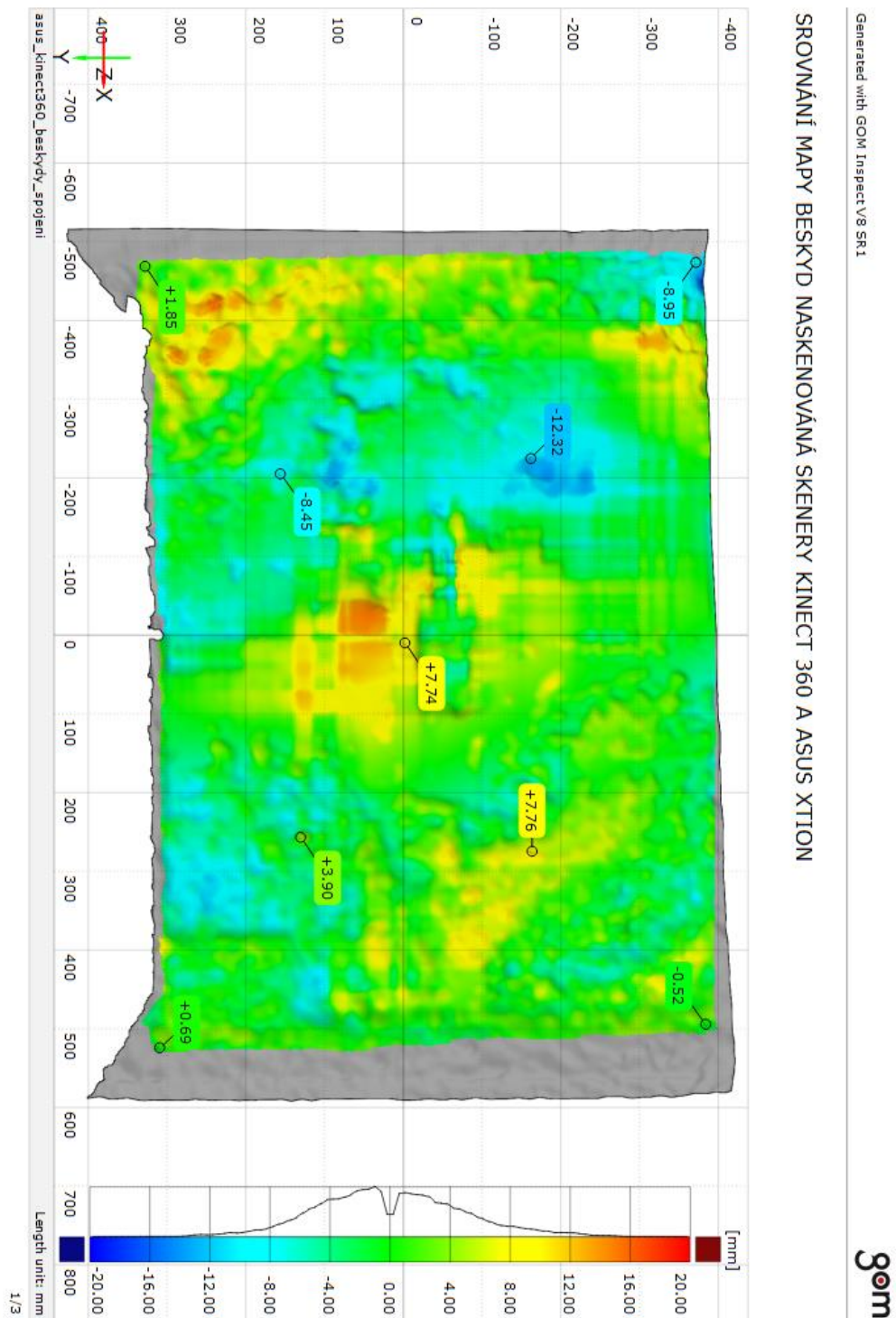
Srovnání přesnosti na pravidelném objektu – Kinect 360



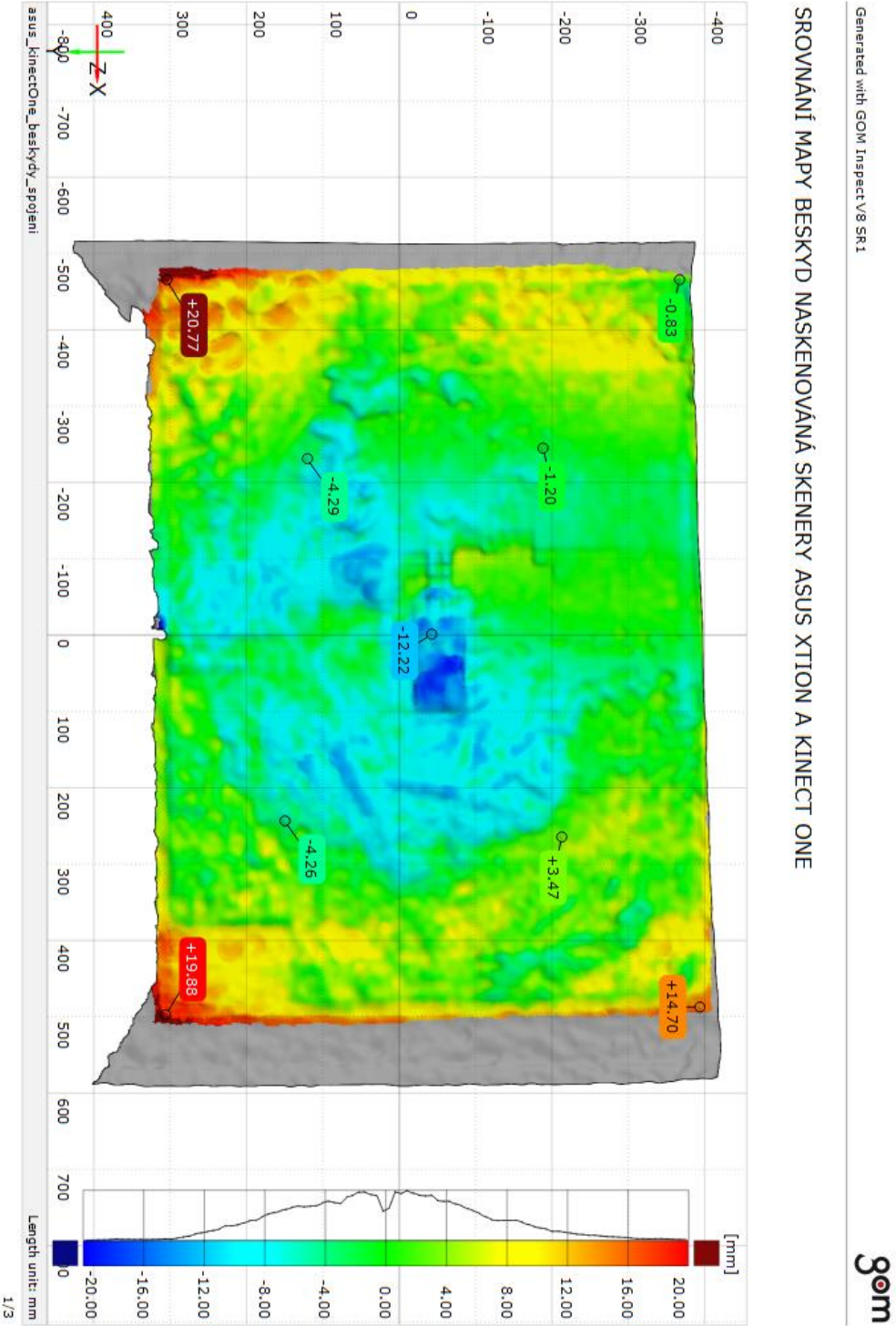
Srovnání přesnosti na pravidelném objektu – Kinect One



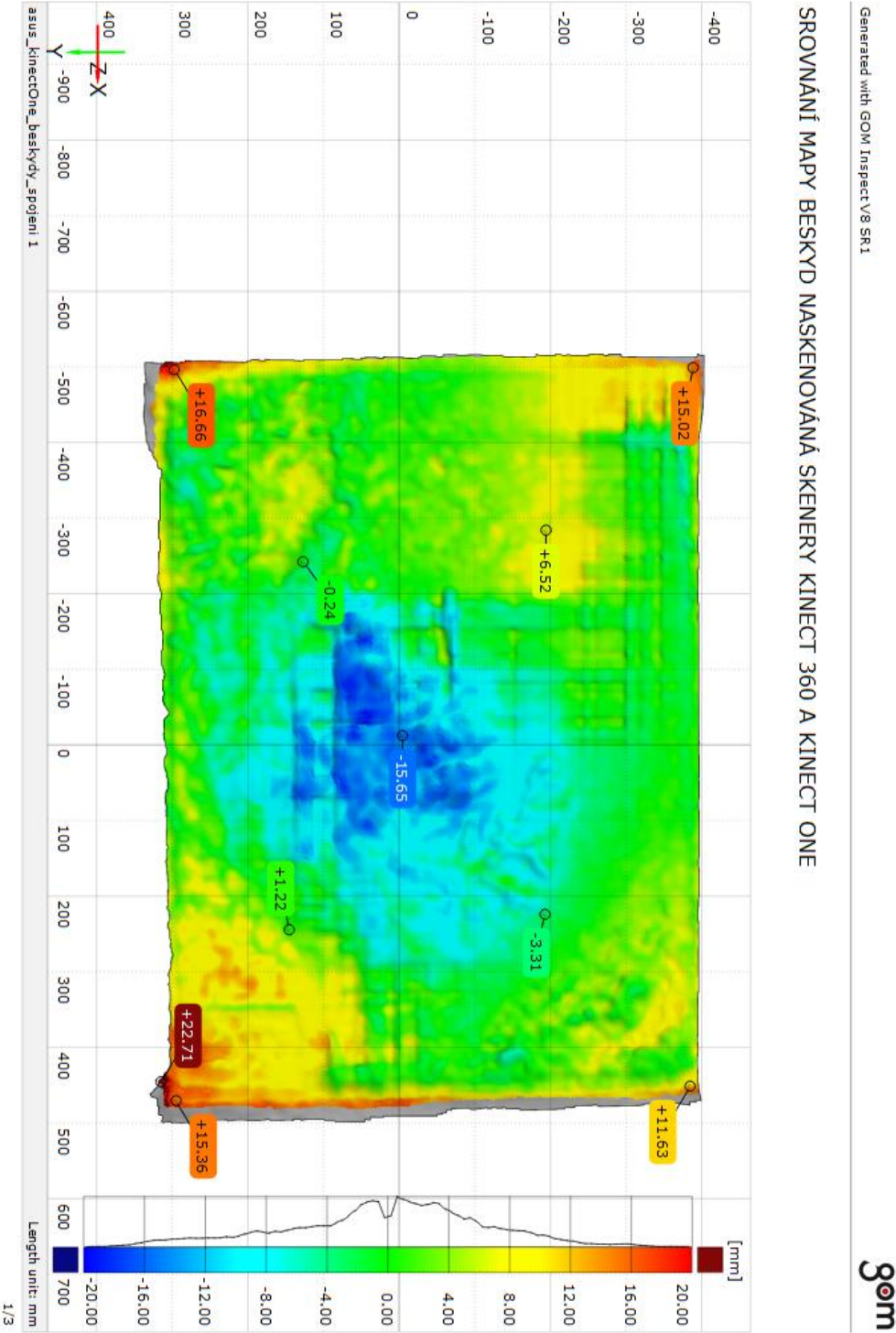
Srovnání přesnosti na reliéfní mapě Beskyd – Asus Xtion a Kinect 360



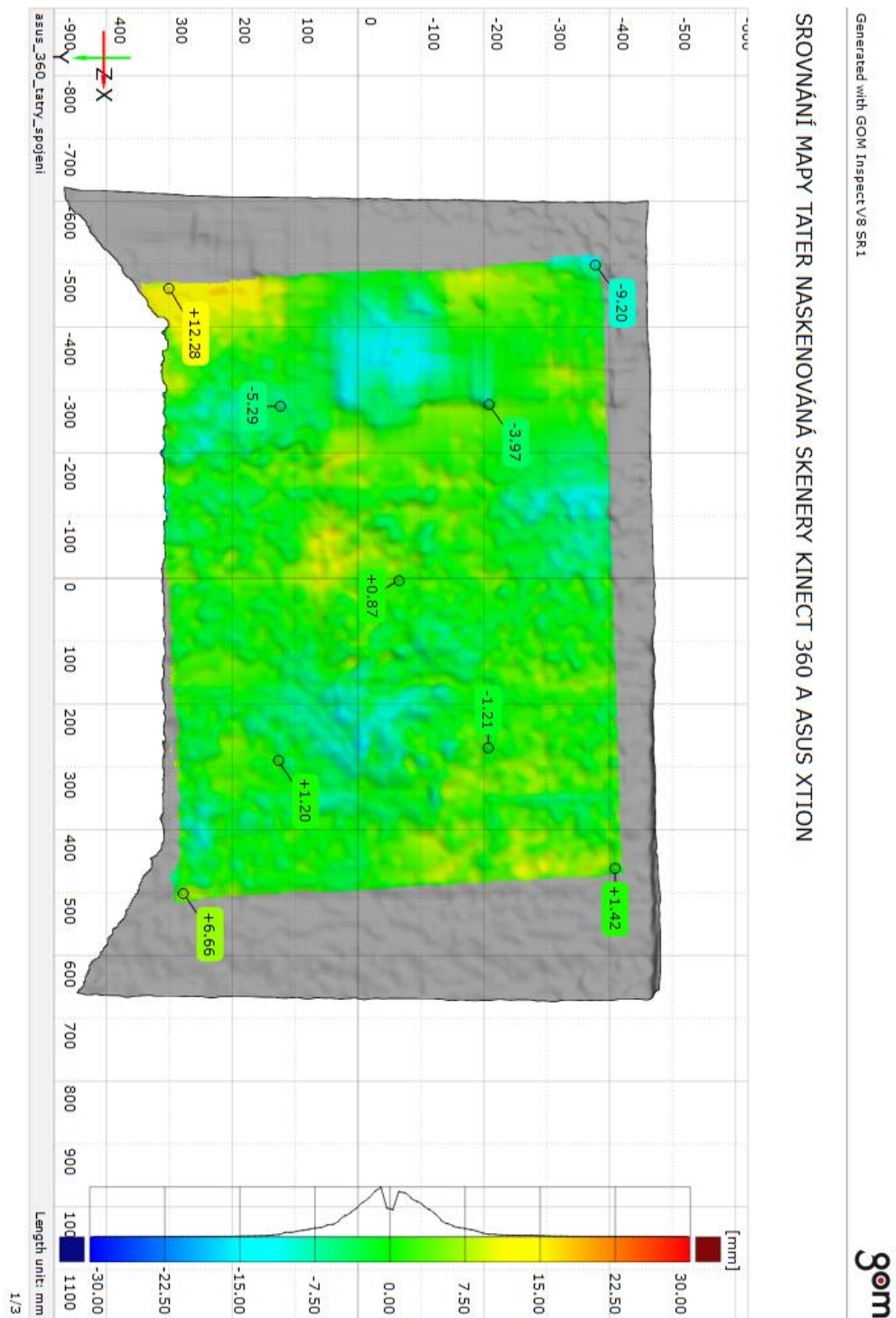
**Srovnání přesnosti na reliéfní mapě Beskyd – Asus Xtion
a Kinect One**



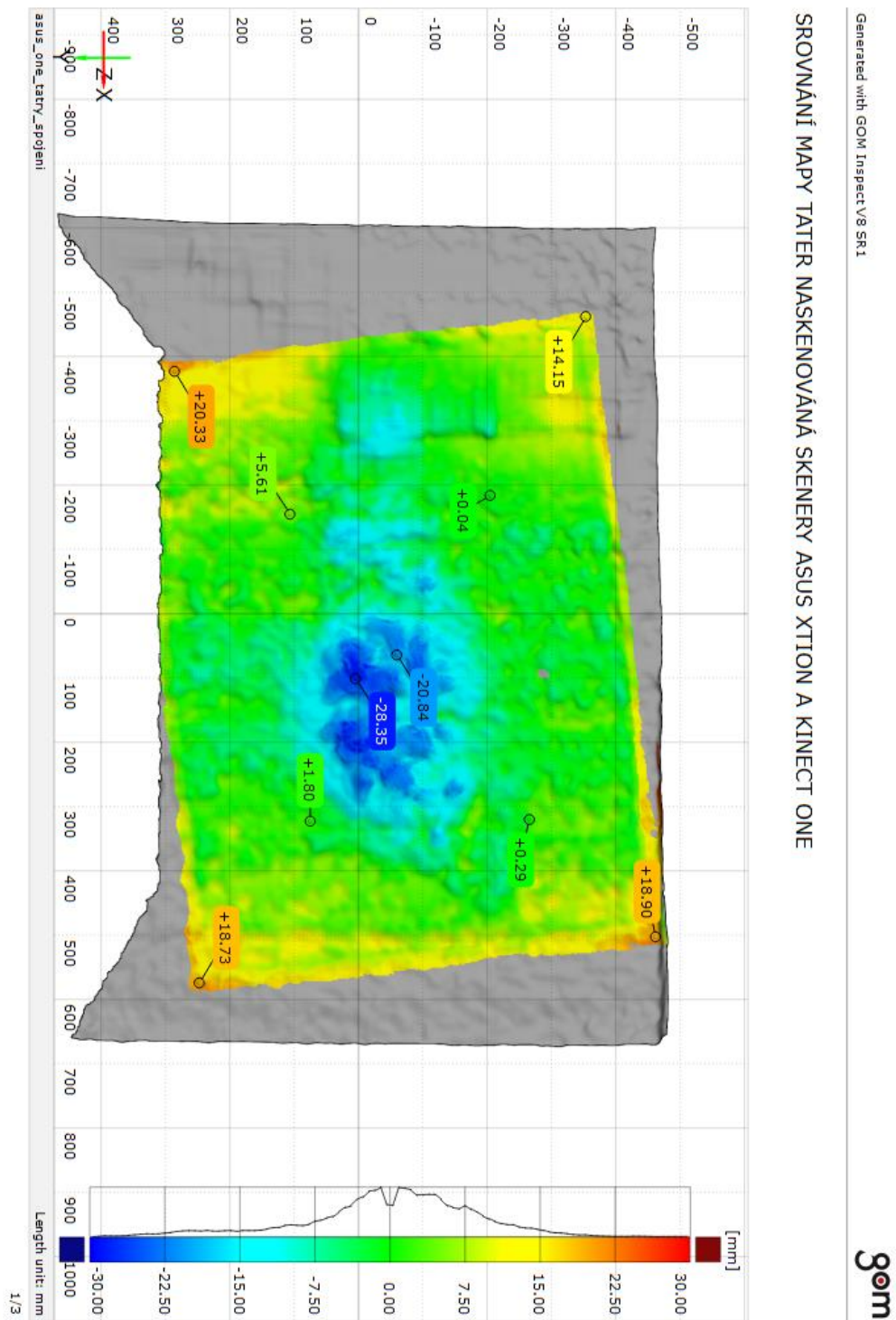
Srovnání přesnosti na reliéfní mapě Beskyd – Kinect One a Kinect 360



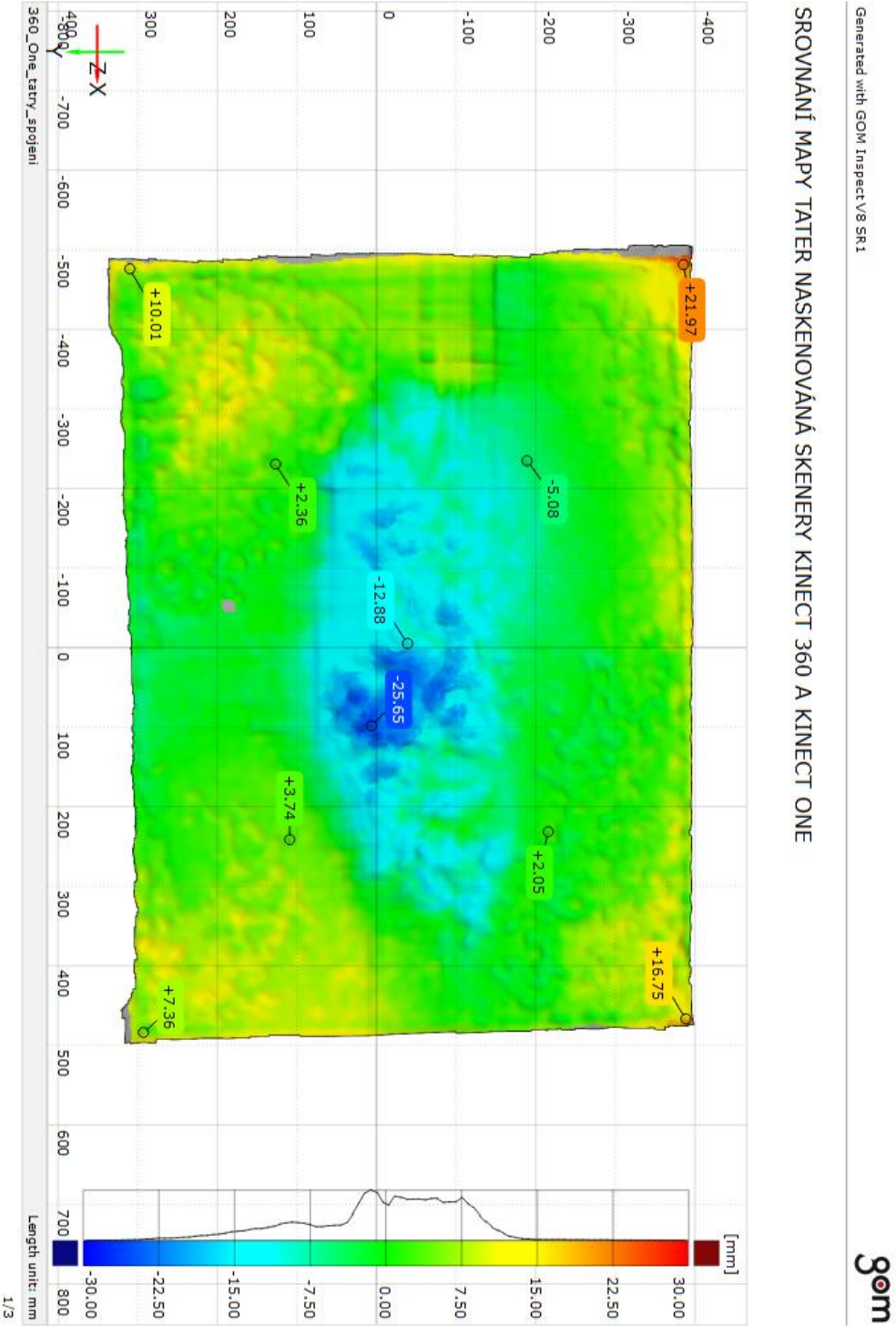
Srovnání přesnosti na reliéfní mapě Tater – Asus Xtion a Kinect 360



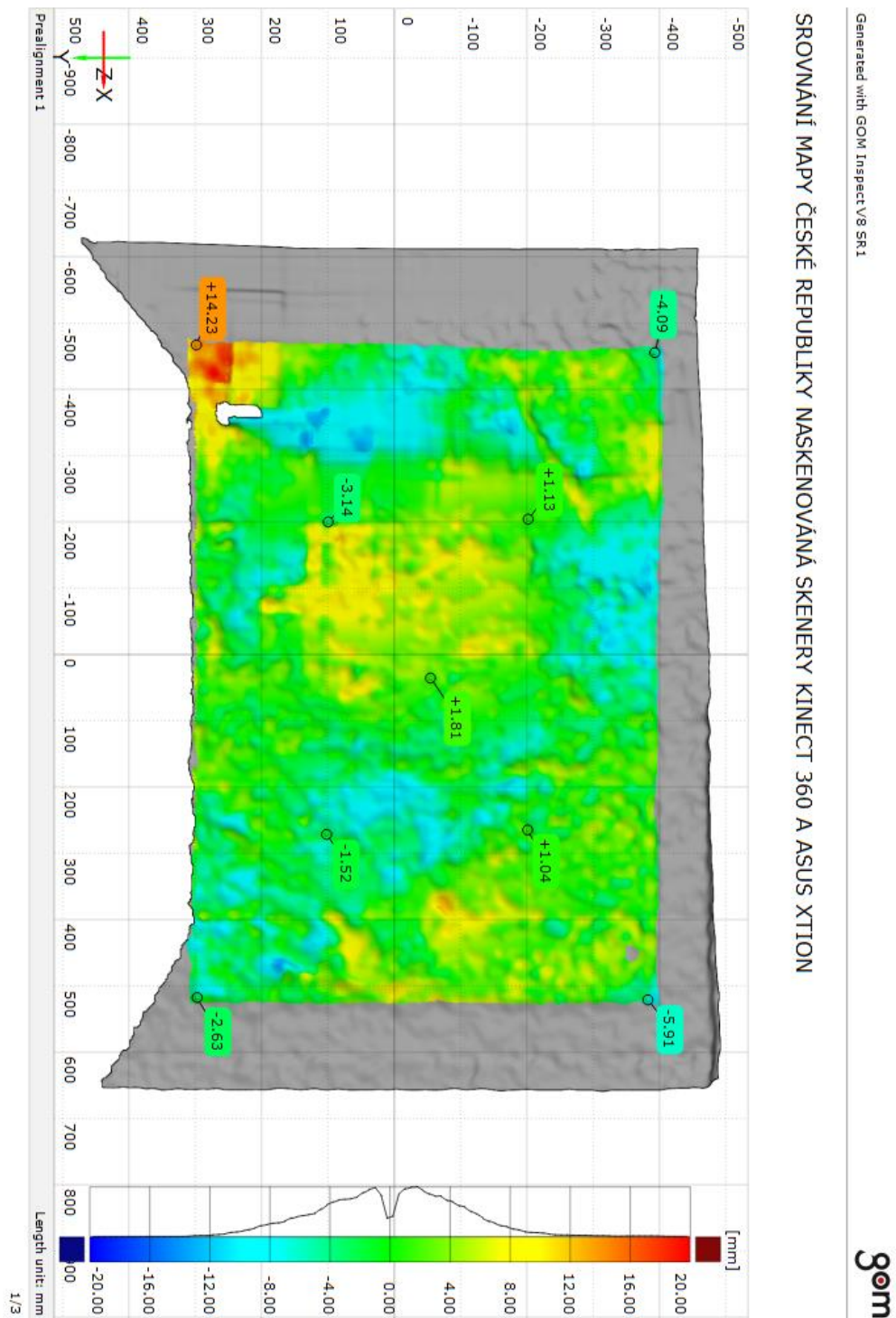
Srovnání přesnosti na reliéfní mapě Tater – Asus Xtion a Kinect One



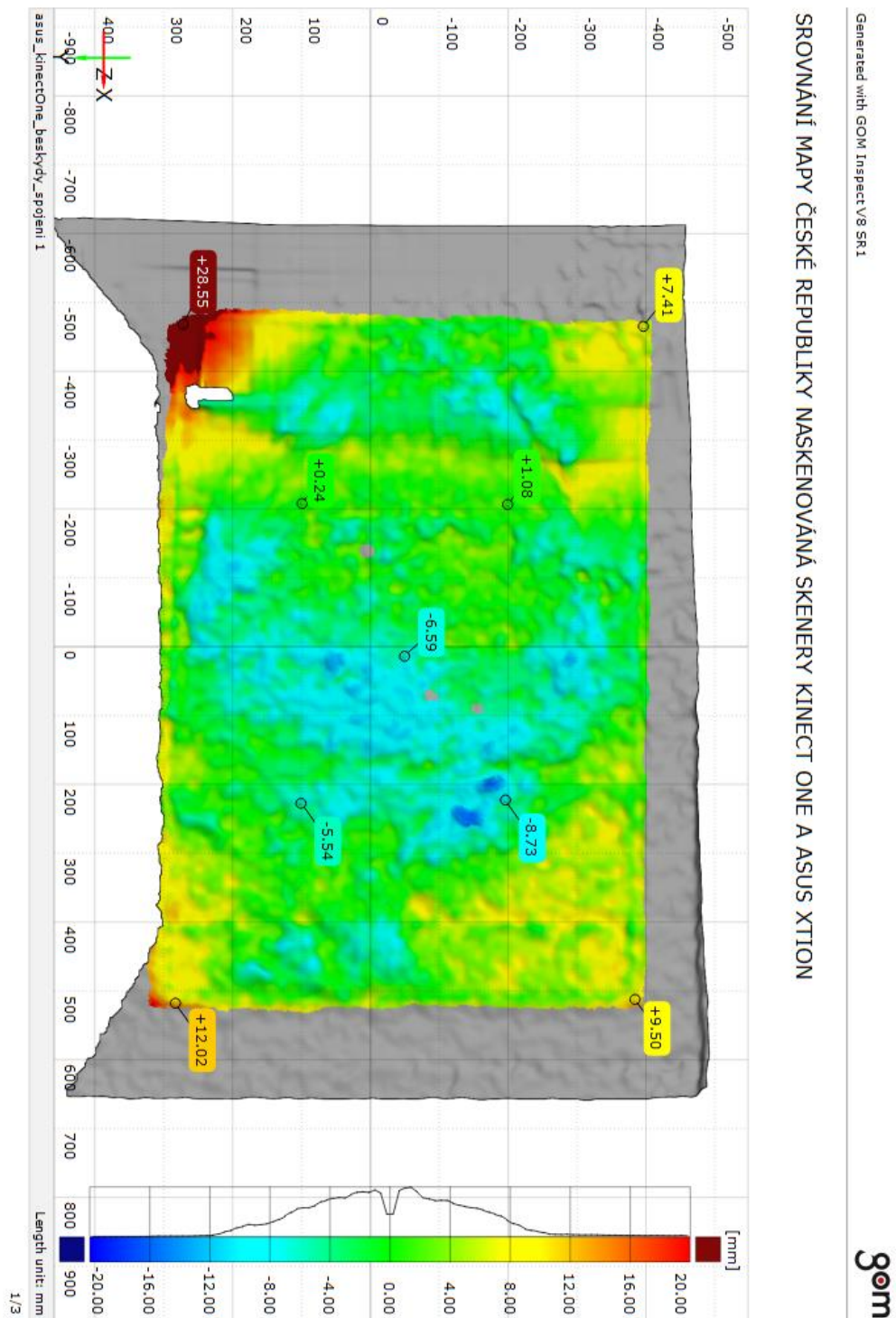
Srovnání přesnosti na reliéfní mapě Tater – Kinect One
a Kinect 360



Srovnání přesnosti na reliéfní mapě České republiky – Asus Xtion a Kinect 360



Srovnání přesnosti na reliéfní mapě České republiky – Asus Xtion a Kinect One



Srovnání přesnosti na reliéfní mapě České republiky – Kinect One a Kinect 360

