



Pedagogická  
fakulta  
Faculty  
of Education

Jihočeská univerzita  
v Českých Budějovicích  
University of South Bohemia  
in České Budějovice

Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích  
Pedagogická fakulta  
Katedra aplikované fyziky a techniky

Diplomová práce

# WWW tutoriál pro HP 3D scanner Pro S3

Vypracovala: Bc. Denisa Mojžíšová  
Vedoucí práce: Ing. Michal Šerý, Ph.D.

České Budějovice 2022

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že svoji diplomovou práci na téma WWW tutoriál pro HP 3D scanner Pro S3 jsem vypracovala samostatně pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury.

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., v platném znění, souhlasím se zveřejněním své diplomové práce, a to v nezkrácené podobě, elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách, a to se zachováním mého autorského práva k odevzdanému textu této kvalifikační práce. Souhlasím dále s tím, aby toutéž elektronickou cestou byly v souladu s uvedeným ustanovením zákona č. 111/1998 Sb., zveřejněny posudky školitele a oponentů práce i záznam o průběhu a výsledku obhajoby kvalifikační práce. Rovněž souhlasím s porovnáním textu mé kvalifikační práce s databází kvalifikačních prací Theses.cz provozovanou Národním registrem vysokoškolských kvalifikačních prací a systémem na odhalování plagiátů.

V Českých Budějovicích dne:

Podpis: .....



## **Anotace**

Tato práce se v první části zabývá základními pojmy a principem fungování technologie 3D skenování, jsou zde rozebrány jednotlivé druhy 3D skenerů. Dále je zde rozebrán hardware a software zařízení HP 3D scanner Pro S3. Ve druhé části je podrobně rozebráno zapojení hardwaru a nastavení základních parametrů softwaru, které je doplněno o vzorové úlohy. V závěru jsou shrnuty poznatky, jež byly zaznamenány v průběhu práce.

## **Klíčová slova**

3D skenování, strukturované světlo, modelové úlohy, hardware, software

## **Abstract**

In the first part, this work deals with the basic concepts and principles of operation of 3D scanning technology, there are analysed the various types of 3D scanners. The hardware and software of the HP 3D scanner Pro S3 are also discussed. In the second part, the hardware connection and setting of basic software parameters is analysed in detail, which is supplemented by sample tasks. In the end, the findings that were recorded during the work are summarized.

## **Keywords**

3D scanning, structured light, model tasks, hardware, software

## **Poděkování**

Ráda bych velmi poděkovala vedoucímu diplomové práce panu Ing. Michalovi Šerému, Ph.D., který mi byl oporou, trpělivě konzultoval mé návrhy a udělil mi mnoho podnětných rad. Dále bych chtěla poděkovat všem mým blízkým za podporu, trpělivost a porozumění.

## Obsah

1	Úvod.....	7
2	Cíle práce .....	8
3	Základní pojmy .....	9
3.1	Historie získávání souřadnicových bodů .....	9
3.2	Metody digitalizace .....	10
3.2.1	Triangulace .....	10
3.2.2	Měření doby světla.....	11
3.2.3	Optická interferometrie.....	12
3.3	Rozdělení 3D skenerů .....	12
3.3.1	Kontaktní skenery .....	13
3.3.2	Destruktivní skenery .....	13
3.3.3	Nedestruktivní skenery .....	14
3.3.4	Bezkontaktní skenery.....	14
3.3.5	Reflexivní skenery .....	16
3.3.6	Ultrazvukové skenery .....	16
3.3.7	Laserové skenery .....	16
3.3.8	Optické skenery .....	17
3.4	Výběr 3D skeneru .....	18
4	Hardware.....	20
4.1	Základní parametry skeneru uvedené od výrobce.....	21
4.2	Komponenty .....	21
5	Software .....	26
5.1	HP 3D Scan 5 .....	26
5.1.1	Požadavky .....	27

5.1.2	Ovladatelnost .....	27
5.1.3	Funkce.....	30
6	Návrh modelových úloh.....	33
6.1	Zapojení HW .....	33
6.2	Nastavení základních parametrů skenování v SW .....	35
6.2.1	Kalibrace .....	35
6.2.2	Skenování.....	36
6.3	Skenování hrací kostky .....	39
6.4	Skenování složitějších objektů (sošky) .....	44
6.5	Složení obrazů.....	50
6.6	Otočný stůl .....	52
6.7	Výstupy z programu .....	53
7	Vytvoření www stránek .....	55
8	Závěr .....	56
9	Citovaná literatura.....	57
10	Seznam obrázků.....	59
11	Seznam tabulek .....	60

# 1 Úvod

V této diplomové práci se budu zabývat WWW tutoriálem pro HP 3D scanner Pro S3. Výsledkem by měl být návod pro práci se zmíněným zařízením od firmy HP, může ale být použit i pro jiné druhy skeneru, které fungují na principu strukturovaného světla.

První část práce se zabývá úvodem do problematiky 3D skenerů. Je věnována základním pojmům, různým technologiím 3D skenerů, softwarem a hardwarem zařízení HP 3D scanner Pro S3. Každá z částí je popsána v obecné rovině. Cílem je, aby čtenář nabyl povědomí o 3D skenerech a v další části chápal určité souvislosti, které jsou aplikovány na vzorových úlohách.

Druhá část práce je čistě praktická. Zmíněny jsou složení a celkové nastavení hardwaru přístroje HP 3D scanner Pro S3. Následně je popsáno krok po kroku nastavení celého softwaru HP 3D Scan 5. Dále jsou vypracovány dvě vzorové úlohy, které jsou doplněny o hojný počet fotografií pro ucelení a dokreslení celého návodu. V kapitole složení obrazů je ilustrováno, jak správně poskládat jednotlivé naskenované obrazy k sobě, aby vznikl výsledný model. Jako závěrečné je popsáno vytváření www návodu a kde jej lze nalézt. V závěru samotné práce shrnuji celou práci se zařízením HP 3D scanner Pro S3 a jeho klady a zápory.

## **2 Cíle práce**

Hlavním cílem diplomové práce je vytvoření www návodu pro HP 3D scanner Pro S3. Práce se snaží přiblížit princip fungování zařízení a jeho součástí. Dalším cílem je popsání vzorových úloh pro jednodušší a složitější objekty. Tato práce by měla být jakým si návodem pro veřejnost, jak pracovat s tímto druhem zařízení a softwaru.

### 3 Základní pojmy

3D skenování je velmi užitečná technologie, která nám může usnadnit tvorbu prostorového modelu. Místo zdlouhavého 3D modelování pouze v CAD softwaru vezme skutečný 3D objekt a naskenuje ho. S takto naskenovaným objektem můžeme dále pracovat, měnit jeho velikost a upravit libovolné parametry. Následně můžeme využít technologii 3D tisku pro fyzickou výrobu původně naskenovaného předmětu. [1]

3D Skener je hardwarové vstupní zařízení, které se používá k převodu předlohy obrazu do digitální podoby. U většiny 3D skenerů je princip metod založen na skenování jednotlivých bodů povrchu snímaného objektu a vytvoření tzv. mračna bodů. Tyto body jsou následně převedeny ke geometrickému modelu v tzv. polygonální síti. Obraz je rekonstruován pomocí sítě a získání prostorového modelu. Velké množství technologií se používá k získání jednotlivých bodů, např. lasery, dotykové senzory, rentgeny, kamery. Body jsou definovány souřadnicemi X, Y a Z. V závislosti na použitých technologiích jsou odvozeny názvy metod skenování, např. optické, laserové, ultrazvukové, mechanické. [2]

#### 3.1 Historie získávání souřadnicových bodů

Metody získávání souřadnic pochází už ze středověkého Egypta a Babylonu. Velmi důležitý pro souřadnicovou soustavu bodů byl objev trigonometrie Euklidem a Archimedesem. Následně se mnoho světoznámých vědců zabývalo touto problematikou triangulace. [3]

Dalším stěžejním vědním oborem pro rozvoj 3D skenerů byla fotogrammetrie, která získává zachycení tvarů pomocí určování polohy, měření rozměrů a následné zachycení analogovým nebo digitálním obrazem. [3]

Na počátku devadesátých let dvacátého století byla vyvinuta první zařízení na principu 3D skeneru jako bezkontaktní metody získávání souřadnicových bodů. Vývoj těchto zařízení postupoval s dalším vývojem výpočetní techniky a šlo ruku v ruce se zvyšujícím se zájmem digitalizovat a zefektivnit práci ve většině odvětví.

Zvýšení výkonu výpočetní techniky umožnilo využívání 3D obrazů na běžné bázi. [3]

V průmyslu od poloviny dvacátého století využíváme také kontaktní metody snímání. Jsou aplikovány do výroby až do dnešní doby i přes rozšířenou modernizaci a digitalizaci výroby. [3]

## 3.2 Metody digitalizace

Se získáváním X-ové a Y-ové souřadnice při skenování není v podstatě problém, kde ovšem tento problém nastává, je souřadnice na ose Z. Dochází zde ke ztrátě této informace vlivem špatné měřitelnosti skenerem, proto je softwarově dopočítávána různými způsoby. Pro získání informace o Z-ové souřadnici se využívá triangulace, měření doby letu světla a optická interferometrie. [4]

### 3.2.1 Triangulace

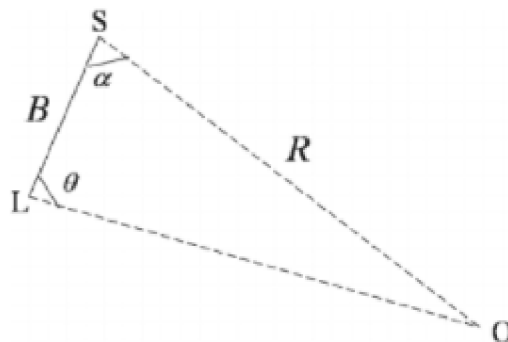
Pojednáváme o technice světelné tabule založené na laserové liniové projekci. Zobrazování pomocí světelné tabule je účinnou technikou pro měření rozsahu. Na objekt je promítán parsek světla a čára průřezu plátem světla přes objekt je prohlížena zobrazovací kamerou. Tato triangulační metoda se mírně liší od jiných laserových zaměřovacích systémů, kde dvě nejběžnější alternativy jsou systémy s dobou letu a fázovým rozdílem. Tyto alternativy nenabízejí přesnost. Například přiblížení doby letu je obvykle v rozsahu přesnosti centimetrů, kde je omezujícím faktorem rychlost polovodičové elektroniky. [5]

Metody fázového rozdílu využívají fázově koherentní laserový zdroj a odhadují dosah na základě fázového rozdílu mezi vysílanými a přijímanými signály tohoto zdroje. Opět platí, že rychlost elektroniky určuje přesnost. Pro laserové triangulační měření jako je metoda paprsků světla, je omezujícím faktorem geometrie systému, a proto jsou k dispozici vysoce přesné systémy. Geometrie pro přesný systém obvykle omezuje zorné pole a hloubku pohledu systému. Podobně jako dříve přístup ke strukturovanému osvětlení je laserová triangulace metodou, která k odhadu využívá úhly a základní vzdálenost mezi zdrojem světla a kamerou. Vzdálenost k bodu na objektu. Zdroj světla s vysokou intenzitou – laser – je zaostřen a promítán pod určitým úhlem na povrch. Fotosenzitivní zařízení, obvykle



videokamera, snímá odraz od tohoto povrchu a poté pomocí geometrické triangulace polohy lze vypočítat povrchový bod vzhledem k referenční rovině. U úzkopaprskového laseru vede tato triangulace k odhadu jediného bodu na povrchu. Pokud nasměrujeme laser napříč objektem, systém dokáže odhadnout více bodů. Systém sleduje úhel skenování pro laser, aby vyřešil triangulaci. Triangulace tedy vede k 3D měření. Můžeme skenovat laser rastrovým způsobem napříč scénou, abychom získali měření vzdálenosti pro každý pixel. [5]

Efektivnější metodou je uvažovat o plošném laseru spíše než o bodovém laseru. List světla laserem vyřeže rovinu ve 3D prostoru a promítne tak jedinou linii přes objekt zájmu. Tato čára se promítá jako čára (spíše než jako bod) do obrazové roviny kamery. Tato metoda je přímým rozšířením bodového laserového přístupu kromě toho, že čára představuje soubor simultánních bodových zdrojů. Přístup pomocí listu světla je tedy mnohem rychlejší, a proto se jedná o nejběžnější metodu pro laserovou triangulaci. [5]



Obrázek 1 – Triangulace

(Převzato a upraveno z [5])

Triangulační geometrii vidíme zobrazenou na obrázku, kde body L a S reprezentují projektor laserového paprsku a kamerový senzor. Jedná se o orientační úhly se známou velikostí a rozsah základní přímky B. Od R k bodu O se jedná o vzdálenost, kterou vypočítáme na základě známých hodnot. [3]

### 3.2.2 Měření doby světla

Vzdálenost počátku souřadnicového systému od bodu snímání lze zjistit po zaznamenání informace ze snímacího senzoru, kterou je doba letu světelného paprsku

od vyslání a k následnému odražení od snímaného povrchu. Počátek souřadnicového systému je ve většině případů umístěn na místo kamery. Princip měření doby světla je souvislost mezi měřeným optickým modulovým signálem a mezi rychlostí referenčního signálu. Modulovaný optický signál může být pseudonáhodný, pulzní a spojitý. Největším problémem je rychlost světla, která způsobuje problémy s přesností měřícího snímače, a taktéž je omezena vzdálenost snímání. [4]

### 3.2.3 Optická interferometrie

Optická interferometrie je interakce mezi dvěma paprsky (může jich být i více), která slouží ke shromažďování informací. Jedná se o techniku, kde se rozděluje koherentní svazek světelných paprsků na referenční a měřící svazek. Ve snímači jsou oba paprsky přivedeny ke smísení. Může zde být použit 2D detektor, kde se indikuje fázový posun mezi oběma paprsky. Pokud se provede přesná kalibrace, je možné uskutečnit absolutní měření, jinak je možné měřit pouze vzájemnou vzdálenost snímaných bodů. [4]

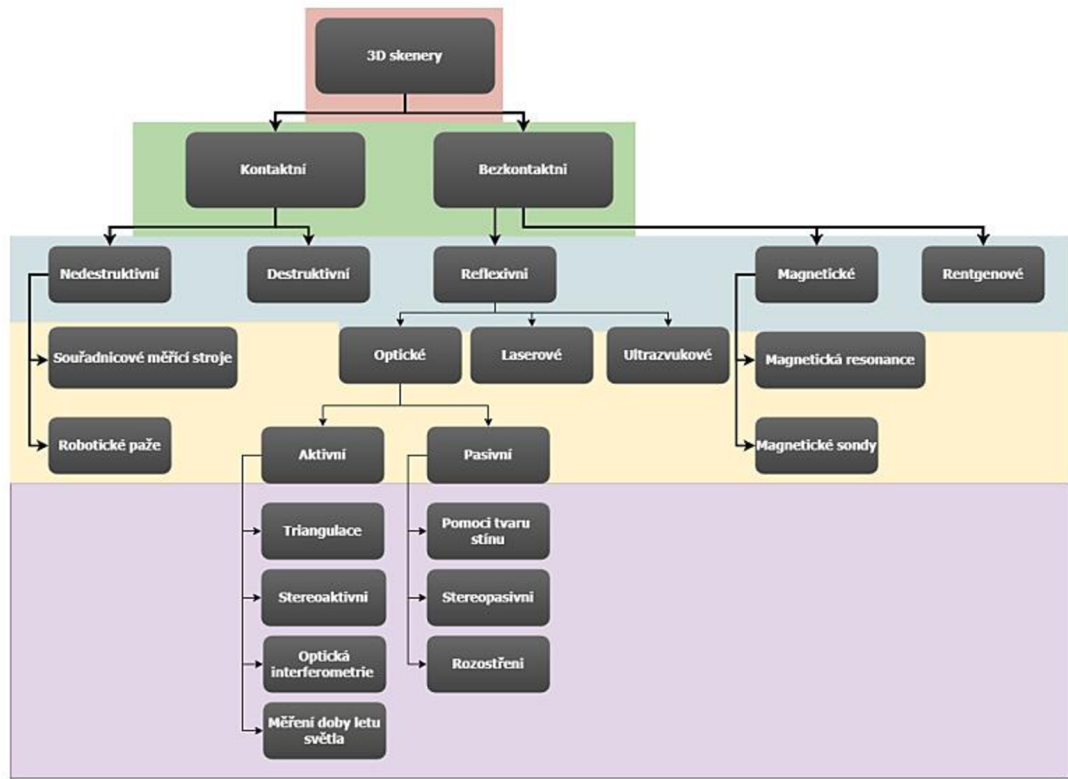
## 3.3 Rozdělení 3D skenerů

3D skenery založené na zobrazování získávají měření zachycením obrázků objektu a poté z těchto obrázků rekonstruují 3D modely. Skener je umístěn v různých pozorovacích úhlech, aby plně pokryl každý povrch objektu, a tento soubor datových sad vede k rekonstruovanému modelu 3DCAD. Obvykle označujeme měření z 3D skenerů jako snímky rozsahu, kde každý pixel takových snímků představuje vzdálenost (nebo hloubku) od daného umístění skeneru ke každému z povrchových bodů na objektu. [5]

Nejznámější metodou získávání 3D obrazu je pasivní triangulace, známá také jako stereo vidění. Zahrnuje koordinaci dvou kamer pro generování hloubkových informací o scéně automatickým nalezením odpovídajících funkcí v obou stereo snímcích. Jako alternativu k pasivním metodám nabízejí aktivní metody, jako jsou systémy strukturovaného osvětlení, světelný paprsek a světlený pruh. [5]

Dále můžeme rozlišovat dva typy 3D skenerů, bezkontaktní a kontaktní podle toho, jak se skener dotýká nebo nedotýká objektu. Tyto dvě skupiny můžeme dále dělit

na podskupiny. Skupinu kontaktních skenerů dělíme na destruktivní a nedestruktivní skupiny. [5]



Obrázek 2 - Rozdělení 3D skenerů

(Převzato a upraveno z [2])

### 3.3.1 Kontaktní skenery

Kontaktní skenery potřebují kontakt se skenovaným objektem. Kvůli nutnosti specializovaného hardwaru jsou dražší než bezkontaktní skenery. Řadíme je k nejstarším metodám skenování daných objektů a jejich digitalizaci. Kombinujeme je velmi často s optickými skenery. Rozdělují se na destruktivní a nedestruktivní skenery. [2]

### 3.3.2 Destruktivní skenery

Kromě vnějšího povrchu součásti má toto zařízení schopnost digitalizace vnitřní geometrie. Zaznamenaný předmět však bude při použití této technologie zničen, odtud název metody. V případě potřeby zkoumání objektu i zevnitř se stále používá v oblasti reverzního inženýrství k digitalizaci různých součástí se složitou vnitřní geometrií, ale to se obvykle provádí v kombinaci s bezkontaktními skenery. Lze použít na různé

materiály, jako jsou kovy, plasty a různé slitiny. Doba snímání závisí na přesnosti skenování, velikosti součástí a počtu odebíraných vrstev. [4]

### **3.3.3 Nedestruktivní skenery**

Všechny nedestruktivní kontaktní skenery na rozdíl od destruktivních skenerů objekt při digitalizaci nijak nepoškodí. Nedestruktivní 3D skenery skenují po přímém fyzickém kontaktu s materiálem objektu. Objekt zůstává stále připevněn k podložce, kuličková nebo bodová sonda je připevněna na CMM polohovacím ramenu a umožňuje tak uživateli zachytit 3D data z objektu. Pro zvýšení přesnosti digitálního obrazu je vhodné před skenováním označit na povrchu body skenovaného objektu, které je nutné skenovat. Počet bodů se liší složitostí těla a přesností, kterou požadujeme. [4]

Dělí se na:

- Robotické paže - jedná se o zautomatizované zařízení, můžeme jej nalézt např. při skenování v nebezpečných prostorách.
- Souřadnicový měřicí přístroj – pořizuje záznamy z měření v rovině nebo v prostoru, jedná se o plně automatické zařízení.
- Mechanicky řízené 3D skenery – nejstarší metoda skenování, na měřicí hlavě je upnutý hrot s kuličkou, ta obsahuje snímače citlivé na vychýlení kuličky při střetu s předmětem. [2]

### **3.3.4 Bezkontaktní skenery**

Přesnost, jednoduchost a rychlost jsou hlavní výhody a důvody, proč se staly bezkontaktní skenery nejrozšířenější variantou skenerů na trhu. Na rozdíl od kontaktních skenerů nevyžadují žádný kontakt s materiálem fyzického objektu se součástí skeneru. Dělíme je na několik podskupin: magnetické, transmisivní a reflexivní. [4]

#### ***a) Magnetické skenery***

Dělíme je na skenery využívající technologie magnetické rezonance a skenery s magnetickou sondou. Magnetická rezonance je technologie, kdy při jejím použití můžeme získat informace o součástech vnitřní geometrie. Zařízení nedestruktivních

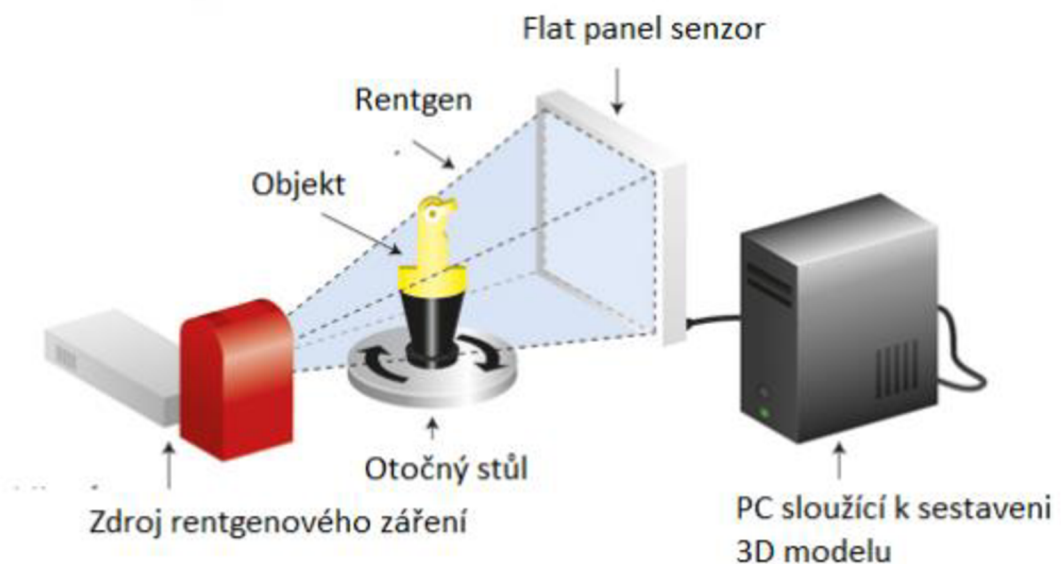
skenerů pracuje na principu klasické magnetické rezonance, která se používá ve zdravotnictví. [4]

### **b) Transmisivní skenery**

Zástupci přenosových skenerů jsou skenery využívající technologie tomografie (CT). Skenery transmisivní používají stejně jako skenery s technologií magnetické rezonance pro získání dat o vnitřní struktuře zkoumaného objektu. Přenos informací probíhá pomocí rentgenového záření. Na rozdíl od lékařských verzí se v této aplikaci používá CT vyšší intenzity záření. [4]

### **c) Rentgenové skenery**

Používají rentgenové záření pro získání vnitřní struktury daného objektu. Rentgenové záření má u těchto zařízení podstatně větší intenzitu než u rentgenových zařízení používaných ve zdravotnictví, jelikož výrobku tato intenzita nemůže uškodit. Skenování objektu probíhá tak, že se uzavře v komoře, kde se otáčí a ze zdroje rentgenového záření vychází paprsky záření, které zachytí senzor na druhé straně komory. Senzor měří intenzitu prošlého záření objektem, dle toho určí 3D model a také lze určit materiál snímaného objektu. Celý proces je řízen počítačem, ke kterému je rentgenový skener připojen. [2]



Obrázek 3 - Princip rentgenového 3D skeneru

(Převzato a upraveno z [2])

### 3.3.5 Reflexivní skenery

Nejrozšířenější forma 3D skenerů dělená na další podskupiny. Spadají sem optické, laserové a akustické skenery. Nejpoužívanějším a veřejně nejrozšířenějším typem reflexivních skenerů a skenerů obecně jsou optické skenery. V této skupině nalezneme velké množství technologických řešení. [4]

### 3.3.6 Ultrazvukové skenery

Princip fungování této 3D digitalizace spočívá v bezkontaktním snímání povrchu předmětu sondou vyzařující zvukové vlny. Manuální skenování se provádí pomocí ultrazvukové pistole s kovovým hrotem, který se přikládá k povrchu objektu. Znatelnou nevýhodou ultrazvukových skenerů je malá přesnost snímání. Využití pro tento typ skeneru prostorového snímání povrchů najdeme především v oblasti kontroly kvality, jelikož se nejedná o cenově efektivní řešení. [4]



Obrázek 4 - Ultrazvukový skener

(Převzato a upraveno z [18])

### 3.3.7 Laserové skenery

Skener vyše nejprve laserový paprsek k objektu kolmo, paprsek se odrazí od povrchu snímaného objektu a vrací se zpět do skeneru. Úhel odrazu dodává informace pro výpočty o zakřivení objektu. Tímto způsobem se nasnímá celý objekt. Kvalita výsledného snímku je dána hustotou pokryté plochy objektu. Využívají se ke skenování rozlehlých prostorů a objektů a jsou vhodné i pro snímání velkých vzdáleností. [2]

### 3.3.8 Optické skenery

Skenování snímaného objektu se provádí z více úhlů pomocí optického zařízení. Když změníte scénu nebo snímací zařízení, pořídíte snímky z mnoha různých úhlů. Úhlová data jsou zpracovávána pomocí pokročilých algoritmů na digitalizovaný model. Skenery umožňují vytvářet počítačové modely pomocí naskenovaných bodů. Před skenováním se na těle vyznačí body, kterým říkáme orientační. Orientační body slouží k zarovnání skenů přes sebe při vytváření 3D modelu. U jednoduchých těles používáme bodů pouze pár desítek, avšak u tvarově složitějších těles jejich počet může dosahovat až k několika tisícům. [4]

Druhy metod snímání u optických skenerů:

#### **a) Pasivní metody**

V geometrickém uspořádání měřicího systému není součástí světelný zdroj. Energie se zde pouze přijímá, nijak nevydává. Při nasnímání fotoaparátem pořídí alespoň dva snímky, které jsou pořízeny v různých polohách tělesa. Buď se otočí samotným tělesem, nebo se změní poloha kamery. [4]

Metody měření tvaru:

- Analýza pohybu
- Stereovidění
- Změny ohniska
- Textura objektu
- Zoomování
- Získávání tvaru ze stínů objektu
- Využívání kontur objektu

#### **b) Aktivní metody**

Odlišují se od pasivních metod vyzařováním určitého druhu energie - jakékoliv elektromagnetické záření nebo světlo. Paprsek tohoto záření směřuje k povrchu snímaného tělesa, které se následně odráží zpět k snímači. Aktivní metody jsou rozšířené v mnoha různých odvětvích, ale stále častěji se používají v různých odvětvích průmyslu. Nepopíratelné výhody těchto metod jsou mobilita, přesnost a rychlost měření. [4]

Metody označení povrchu objektu:

- Světelný paprsek (1D triangulace)
- Světelný pruh (2D triangulace)
- Strukturované světlo (3D triangulace)



Obrázek 5 - Metoda strukturovaného světla (3D triangulace)

(Převzato a upraveno z [19])

### 3.4 Výběr 3D skeneru

Při výběru 3D skeneru je potřeba se zamyslet, k čemu bude 3D skener používán, jakou chceme finální kvalitu skenu a hlavně, jaký rozpočet máme k dispozici. Podle internetového portálu 3D Natives není důležité při koupi rozumět principům, které skener využívá, ale jako mnohem důležitější vnímá jednoduchost obsluhy skeneru. Dalším důležitým prvkem je software – je k přístroji dodán od výrobce nebo musím uvažovat/zakoupit samostatný software? Jak náročná je práce se softwarem? To jsou vše kritéria, jež je důležité před koupí zohlednit. [6]

Nezanedbatelnou stránkou přístroje je i rychlost, kterou skenování probíhá. Hlavní roli hraje kvalita užitých algoritmů programu a výkon samotného přístroje. Dalším aspektem je povrch skenovaného materiálu, výběr proto volíme s ohledem na to, jaký materiál chceme skenovat. Nebudeme-li mít jasnou představu o skenovaném



materiálu, volíme skener s co nejširším záběrem. Univerzální skenery jsou schopné skenovat materiály různé barvy, tvaru, velikostí a struktury povrchu. [6]

V poslední řadě řešíme u přístroje ovladatelnost. 3D skener s nízkou náročností na obsluhu není náročný na zručnost operátora, dochází ke zkvalitnění výsledku a snižuje časovou náročnost celé operace. [6]

## 4 Hardware

V přechodí kapitole jsem se zabývala různými druhy 3D skenerů, jejich využitím a výběrem. Je tedy zřejmé, že hardware se bude lišit právě podle typu skeneru a samozřejmě i podle různých výrobců. V druhé části práce se budu zabývat zpracováním návodu na práci s konkrétním skenerem a tudíž i hardware popíši podle konkrétního zařízení, které jsem měla po celou dobu zpracování diplomové práce k dispozici.

Konkrétně se zaměřím na typ HP 3D Structured Light Scanner Pro S3, se kterým jsem měla možnost seznámit se hlouběji. Obecně bych zhodnotila celou konstrukci skeneru jako kvalitní a hezky zpracovanou. Dá se velmi dobře rozložit a následně zase složit. Jednotlivé komponenty jsou z kvalitních materiálů a dělíme je na základní – ty, které jsou nutné pro kvalitní skenování, a doplňkové – ty, které slouží ke zkvalitnění a zefektivnění celého procesu skenování.

HP Structured Light Scanner Pro S3 (dříve DAVID SLS-3), 3D skener založený na kombinaci softwaru, hardwaru a příslušenství pro skenování na profesionální úrovni. Využívá technologie strukturovaného světla a je k dispozici ve verzi s jednou nebo dvěma kamerami. [7, 8]

Mezi základní komponenty řadíme:

- Průmyslová HD kamera s vysoce kvalitním objektivem
- Videoprojektor se speciální čočkou pro velký ohniskový rozsah
- Hliníková posuvná kolejnice
- Posuvníky fotoaparátu
- Vysoce kvalitní trojitý stativ

Doplňkové komponenty:

- Sada s přídatnou HD kamerou s vysoce kvalitním objektivem
- Otočný stůl
- HP 3D kalibrační panel PRO
- 3D stolní skenovací páka

#### 4.1 Základní parametry skeneru uvedené od výrobce

V tabulce č. 1 jsou zaznamenány základní parametry uváděné výrobcem. U všech parametrů nalezneme různé rozmezí a počet možností, což nám zvyšuje flexibilitu skenování.

**Tabulka 1 - parametry skeneru HP Structured Light Scanner Pro S3**

Velikost skenu:	60-500 mm
Rozlišení/Přesnost:	Až 0,05 % velikosti skenu (až 0,05 mm)
Doba skenování:	Jedno skenování během 2 sekund (nebo až 10 sekund v závislosti na nastavení a rychlosti počítače)
Exportní formáty:	OBJ, STL, PLY

#### 4.2 Komponenty

Průmyslová HD kamera s vysoce kvalitním objektivem

Jedná se o vysokorychlostní průmyslovou full HD kameru, která je schopna zachytit až 54 snímků za sekundu. Díky tomu dostáváme velmi precizní a kvalitní skeny materiálů a jejich povrchů. [9, 10]



**Obrázek 6 - HD kamera**

(Převzato a upraveno z [10])

Videoprojektor se speciální čočkou pro velký ohniskový rozsah

Produkuje strukturované světlo, které se odráží od modelu a následně je snímáno HD kamerou. Díky velkému ohniskovému rozsahu je videoprojektor vysoce světelný, vylučuje tím nežádoucí odlesky při skenování. Projektor je připevněn na posuvné hliníkové kolejnici, kde je jeho pozice pevně zafixována šroubem. [9, 10]



**Obrázek 7 – Videoprojektor**

(Převzato a upraveno z [7])

### Hliníková posuvná kolejnice

Kvalitní provedení urychluje a podstatně zjednodušuje nastavení průmyslové HD kamery nebo v případě duální soustavy dvou HD kamer a videoprojektoru na posuvné liště. Je zde vyznačeno dobře viditelné pravítko k ještě přesnějšímu a jednoduššímu rozmístění kamer a videoprojektoru.



**Obrázek 8 - Hliníková posuvná kolejnice**

(Převzato a upraveno z [10])

### Posuvníky fotoaparátu

Zajišťuje správnou a stálou pozici průmyslové HD kamery nebo kamer po celou dobu skenování. Pozici zafixujeme pomocí kotvících šroubů. Na okraji posuvníku nalezneme pravítko s vyobrazením stupňů od 0° do 30° na obě strany posuvníku. Jsou nasazeny na posuvné kolejnici.



Obrázek 9 - Posuvník fotoaparátu

(Převzato a upraveno z [10])

Vysoce kvalitní trojitý stativ

Stativ můžeme zaaretovat v různých úrovních celkové výšky. Vyroben je z hliníku a díky kvalitnímu zpracování všech částí můžeme snadno přizpůsobovat jeho nastavení našim potřebám. Kulová hlava stativu je otočná o  $90^\circ$  a šroubem na ni upínáme hliníkovou posuvnou kolejnici.



Obrázek 10 - Trojitý stativ

(Převzato a upraveno z [10])

### Otočný stůl

Automaticky otáčí se skenovaným objektem dle informací poskytnutými softwarem. Otočný stůl je malý, skladný a lehký. Kolem dokola nalezneme stupnici od 0° do 360°. Na zadní straně nalezneme LED indikátor stavu skenování. [9]

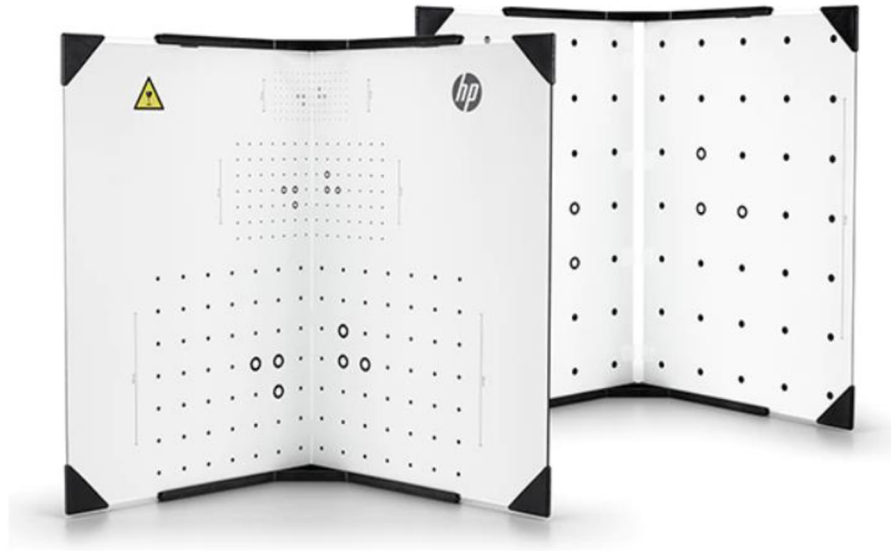


Obrázek 11 - Otočný stůl

(Převzato a upraveno z [9])

## HP 3D kalibrační panel PRO

Dva skleněné panely se čtyřmi velikostmi mřížky sloužící ke skenování objektů různých velikostí. Využíváme pro správnou a precizní kalibraci softwaru a všech zařízení, která je velmi důležitá pro přesný výsledný model. [9]



Obrázek 12 - Kalibrační panel

(Převzato a upraveno z [9])

## 5 Software

Softwarů pro 3D skenery je k dispozici velké množství. Vybírat můžeme z programů, které jsou k dispozici zdarma, za úplatu, v různých jazycích, s různými funkcemi, v různém prostředí... Možností máme velmi mnoho, můžeme si tedy zvolit software, který je nám nejbližší nebo dle vhodnosti k danému přístroji.

Slouží primárně jako obslužný element při pořizování 3D snímku ze skeneru. Hlavní funkcí je nasnímat data převést na mraky bodů. Tyto mraky seskládá do jednoho celku a tím vznikne kompletní 3D model a jeho objekt. [8]

Software dále umožňuje sekundární zpracování skenu vyhlazením nebo zjednodušením tvarů, normalizací, optimalizací, odmazáním nepotřebných částí nebo omylem naskenovaných částí, vyplnění nežádoucích děr v modelu, atd. [8]

Nalezneme i software s rozšířenými funkcemi pro práci z reverzního inženýrství či metrologie, kde software pomáhá s měřením a porovnáváním skenu s CAD modelem. Dále můžeme z profesionálního software exportovat 3D modely do různých modelovacích programů jako je SOLIDWORKS nebo AUTO CAD. [8]

K 3D skeneru HP Structured Light Scanner Pro S3 je k dispozici software přímo od výrobce. To je velká výhoda, jelikož je plně kompatibilní s 3D skenerem. Jmenuje se HP 3D Scan 5. [8]

### 5.1 HP 3D Scan 5

Intuitivní software, vysoce přesný, výsledky skenování jsou velice precizní a přesné. Při použití otočného stolu velmi hezky propojí jednotlivé skeny a dosáhne tak velmi přesného modelu. Dále se podíváme na požadavky, ovladatelnost a různé funkce softwaru.

K dispozici máme dvě verze softwaru. Jedna je ke stažení zcela zdarma. Bohužel u této verze narazíme na podstatný problém a tím je ukládání zhotoveného skenu a modelu. Pokud chceme sken uložit, je potřeba mít zakoupenou licenci, která je velmi



nákladná. Je tedy potřeba zvážit před zakoupením samotného přístroje, zda je tento skener a software výhodný pro účely, ke kterým ho hodláme využít.

### **5.1.1 Požadavky**

Výrobce uvádí velmi standartní požadavky na PC, což je velká výhoda pro koncového uživatele. Není zde finanční a funkční náročnost na PC, ve kterém bude software nainstalovaný. [7] Konkrétně výrobce uvádí tyto parametry a požadavky:

#### *Minimální systémové požadavky*

- 3D grafický adaptér
- K dispozici port VGA nebo HDMI
- Dva dostupné USB porty
- NET Framework 4.6

#### *Podporované operační systémy*

- Standardní PC (64bitový – Windows Vista, 7, 8,10)

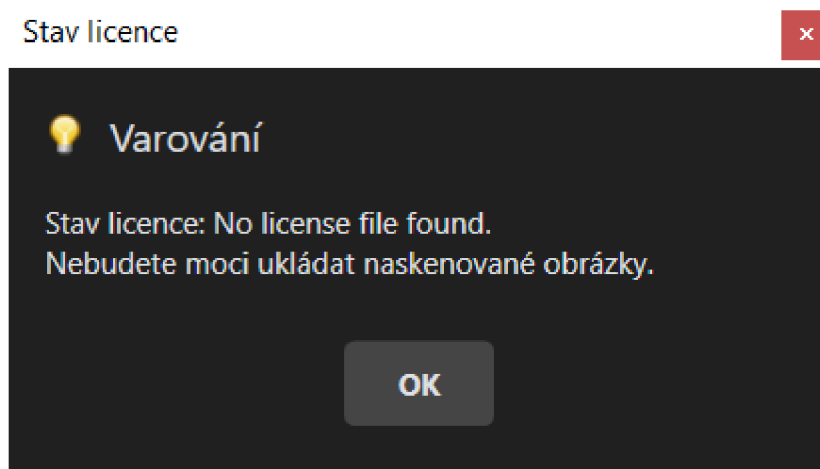
#### *Doporučeno*

- Dvoujádrový procesor 2 GHz
- 4bitový Windows
- 8 GB systémové paměti
- 3D grafická karta (např. NVIDIA GeForce nebo AMD Radeon) s 1 GB RAM nebo více
- USB 3.0

### **5.1.2 Ovladatelnost**

Software HP 3D Scan 5 je přehledný, srozumitelný, uživatelské rozhraní je uživatelsky příjemné a velkou výhodou je ovládání v českém jazyce. Po stažení a následném zapnutí aplikace je uživatel upozorněn, že bez licence se nedají skeny ukládat, což vnímám jako velkou výhodu, jelikož uživatel má dvě možnosti. Pokračovat dále bez ukládání nebo si zakoupit licenci, uživatel má tedy volbu a je včas upozorněn. Nemůže tedy docházet k nepříjemnému překvapení až po oskenování celého výrobku, že sken nemohu uložit. Pokud vloží uživatel licenční klíč, tak software sám vyhodnotí,

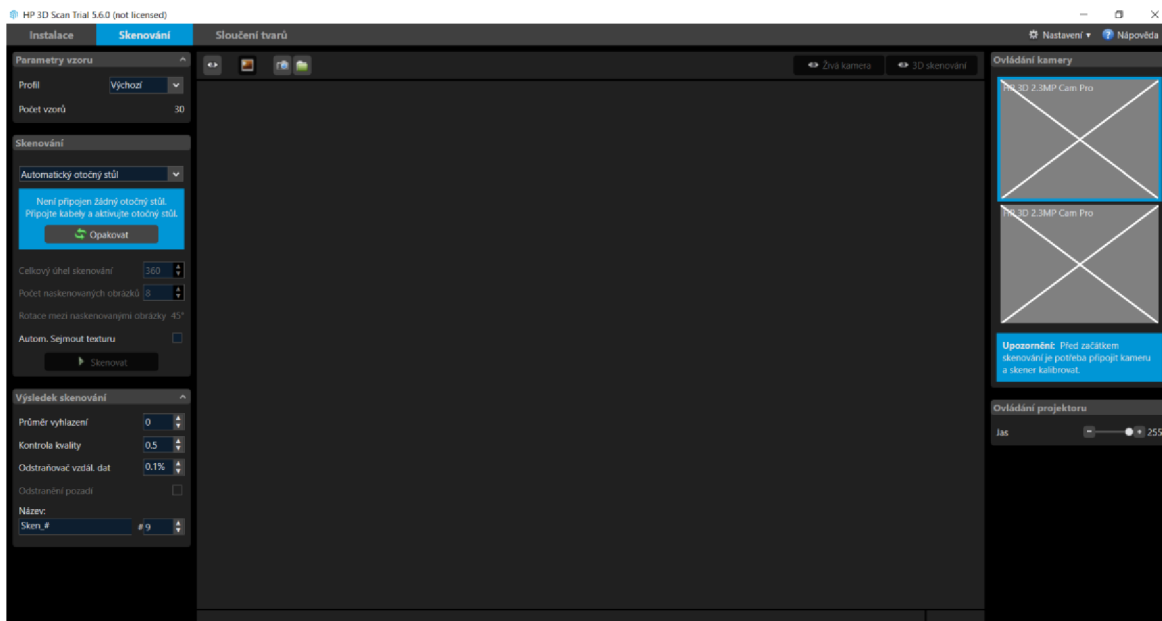
že hlášení není nutné, a zapne se bez něj. Samotné ovládání softwaru je velmi intuitivní a uživatelsky přívětivé.



Obrázek 13 - Upozornění po zapnutí softwaru bez licence

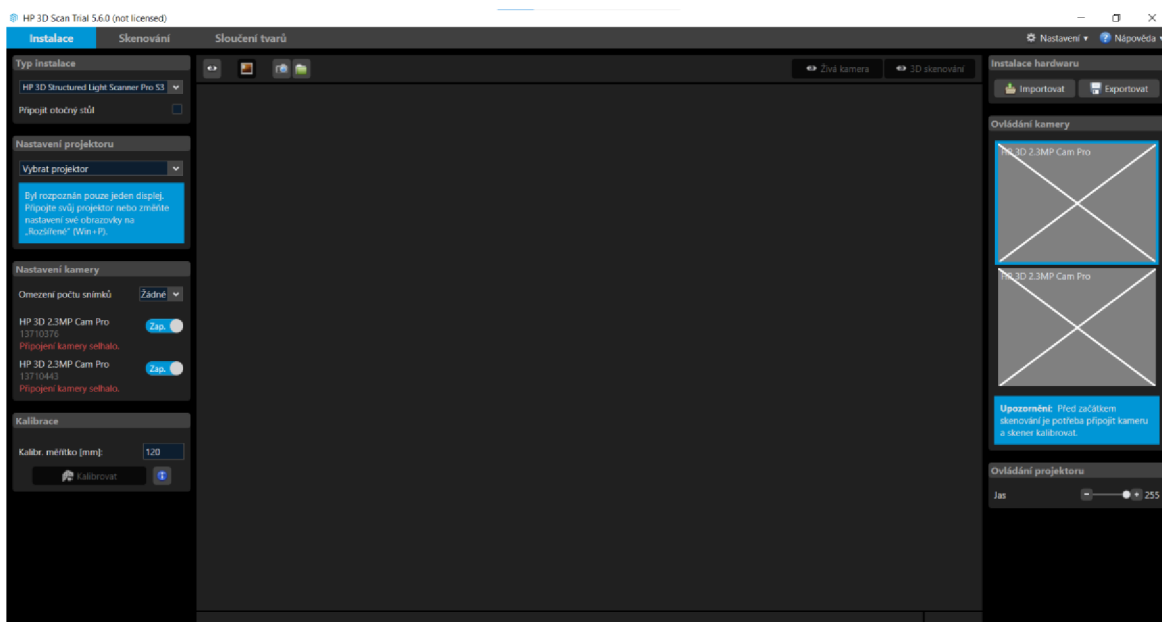
Software je uspořádán do třech hlavních záložek, které se nacházejí nahoře na hlavní liště. Mezi nimi se dá pohodlně přepínat a pracovat tedy v záložce, ve které zrovna potřebuji. Po rozkliknutí záložky se na pravé a levé straně softwaru rozbálí různé podzáložky s různými parametry, které lze nastavovat nebo upravovat. Nahoře pod hlavní lištou se nachází lišta s tlačítky pro volbu automatického nastavení, různých zobrazení, pořízení snímku obrazovky, zobrazení textury a adresáře. Uprostřed se nachází pracovní plocha, kde vidíme naskenované obrazy.

Po spuštění softwaru dojde k otevření okna v obrázku. Jako první se nám automaticky spustí na hlavním panelu nahoře záložka SKENOVÁNÍ. Záložka slouží k nastavení a doladění všech parametrů před skenováním. Vlevo můžeme nastavovat parametry vzoru, skenování a výsledky skenování. Vpravo se vyskytuje ovládání kamery a ovládání projektoru. Na horní liště si můžeme přepínat do jednotlivých úrovní.



Obrázek 14 - Software HP 3D Scan na záložce SKENOVÁNÍ

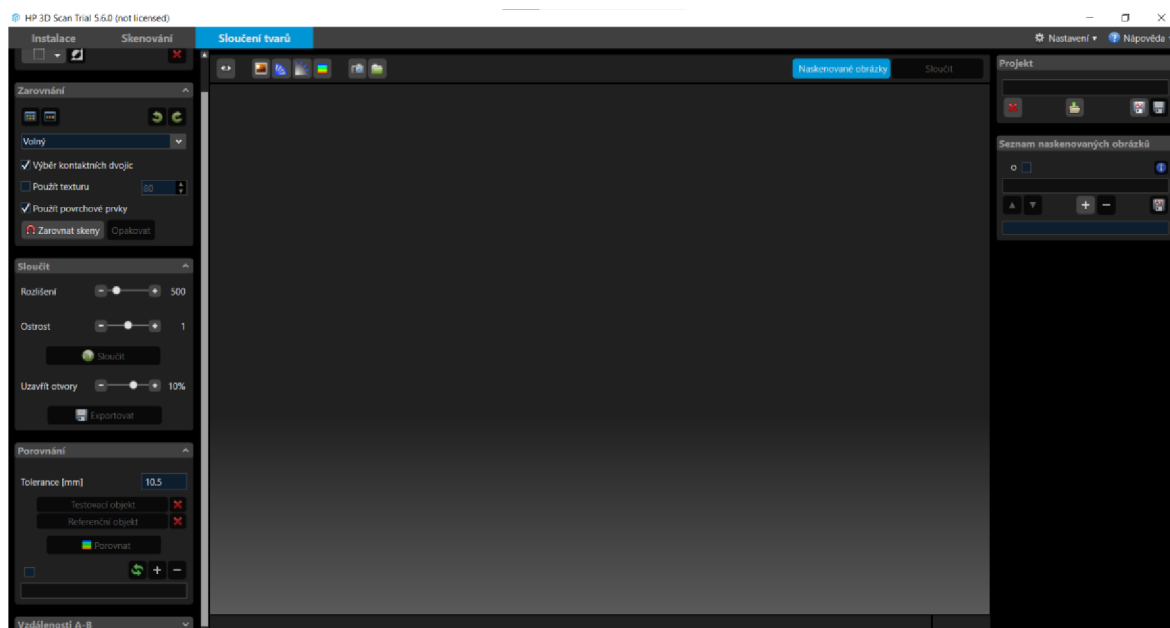
Vlevo na horním hlavním panelu od záložky SKENOVÁNÍ se nachází další záložka INSTALACE. Záložka slouží pro nastavení parametrů projektoru, kamer a k celkové kalibraci všech připojených zřízení. Na levé straně nalezneme typ instalace, nastavení projektoru, nastavení kamery a kalibrace. Po pravé straně opět uvidíme ovládání kamery, ovládání projektoru a navíc přibude instalace hardwaru.



Obrázek 15 - Software HP 3D Scan na záložce INSTALACE

Jako poslední nalezneme na hlavním panelu záložku SLOUČENÍ TVARŮ. Záložka slouží k úpravě pořizovaných snímků ze skenování. Můžeme zde snímky slučovat, ořezávat, strukturovat, atd. Na levé straně nalezneme čištění, zarovnání,

sloučení, porovnání a vzdálenosti A-B. Na levé straně nalezne už jen projekt a seznam naskenovaných obrázků.



Obrázek 16 - Software HP 3D Scan na záložce SLOUČENÍ TVARŮ

### 5.1.3 Funkce

V této podkapitole jsou rozebrány jednotlivé funkce softwaru HP 3D Scan.

#### a) Záložka instalace

V první záložce je potřeba vybrat typ skeneru, v našem případě je to HP 3D Structured Light Scanner Pro S3. Projektor - Acer K132. Následně zapnout kameru/kamery HP 3D 2,3MP Cam PRO. Vpravo je nastavení expozice (nebo spíše rychlost závěrky), zpravidla by měla být nastavena na 1/60, aby nedocházelo k blikání. A jas, ten je lepší mít vždy na maximum. Po nastavení všech parametrů v záložce instalace můžeme přejít ke kalibraci. [10]

#### b) Záložka skenování

V položce „parametry vzoru“ máme výběr ze čtyř profilů skenování dle naší preference výsledného skenu. Program nám nabízí na výběr z výchozí, rychlost, kvalitu a můžeme si vytvořit vlastní profil. Dále lze zvolit počet vzorů, které se na model promítnou v jednom skenu, čím více jich bude, tím lepší bude výsledný sken. [10]

Režimy skenování jsou také 4. Jeden naskenovaný obrázek – může se hodit, pokud objekt skenujeme například z jedné strany. Ruční sekvence skenování - skenování objektu několikrát z různých stran, objekt otáčíme sami. Automatický otočný

stůl – mluví sám za sebe. A skenování pozadí - pro použití této funkce je třeba odstranit objekt skenování, zkontroluje pouze samotné pozadí. Poté při dalším skenování jej program bude moci automaticky odstranit ze všech skenů. [10]

Dále je třeba zvolit, jak se objekt pohybuje. Volný pohyb, horizontální otáčení nebo ruční otočný stůl. Pro většinu situací je vhodný volný pohyb. [10]

Automaticky registrovat texturu – pomocí této funkce skener zaznamená nejen reliéf, ale i barvu objektu s texturami. Získáte tak plnobarevný 3D model. To může být užitečné nejen pro hezky vypadající výsledný model, ale také může pomoci programu do budoucna při porovnávání skenů. Doba skenování a zpracování se však mírně prodlouží. [10]

Níže v poli „výsledek skenování“ můžete konfigurovat parametry vyhlazování, kontrolovat platnost pevných bodů, filtrovat a mazat části. Výrobce doporučuje tyto parametry zbytečně neměnit. A pak můžete zapnout zaškrtnutím - smazat pozadí. Pokud bylo pozadí dříve naskenováno, automaticky se nainstaluje. [10]

Po stisknutí tlačítka "ukončit sekvenci" se program pokusí urovnat všechna skenování. Ve většině případů se skeny dobře shodují za předpokladu, že mají dostatek společných tvarů. Pokud do objektivu fotoaparátu spadnou nějaké další pevné prvky, mohou rušit srovnání. Pokud se nějaké takové prvky vyskytují, musí se na kartě „sloučení tvarů“ vybrat způsob čištění. [10]

### *c) Sloučení tvarů*

Pokud automatické párování nefunguje správně, skeny lze ručně spárovat ve dvojicích. Chcete-li to provést, vyberte „volné“ na kartě „sloučení tvarů“ v bloku „zarovnání“. Vyberte dva skeny. Aby se na obrazovce nezobrazovaly všechny skeny najednou, můžete v seznamu skenů nahoře kliknout na ikonu oka. A kliknutím na stejnou ikonu vedle požadovaných skenů je zobrazíte. Pokud bylo skenování provedeno s texturami, můžete povolit „použít texturu“. Kromě „použití povrchových prvků“ to také zlepší spárování, ale také prodlouží dobu zpracování. Již zkombinované skeny lze sloučit do skupin, poté při spojení s dalším skenem program použije skupinu jako jeden jediný sken. [10]

V této fázi máme pouze mračno bodů. Nyní si jej můžeme sestavit do plnohodnotného 3D modelu. K tomu použijeme blok "sloučit". K dispozici jsou 3 parametry, rozlišení, ostrost a uzavřít otvory. Rozlišení značí kvalitu výsledného modelu, zvýšení tohoto parametru výrazně ovlivňuje dobu zpracování a využití počítačových zdrojů. Ostrost je zodpovědná za vyhlazování. Snížením tohoto parametru se model vymyje a skryje vady. Zvýšení naopak udělá jasný model, ale vady budou znatelnější. [10]

## 6 Návrh modelových úloh

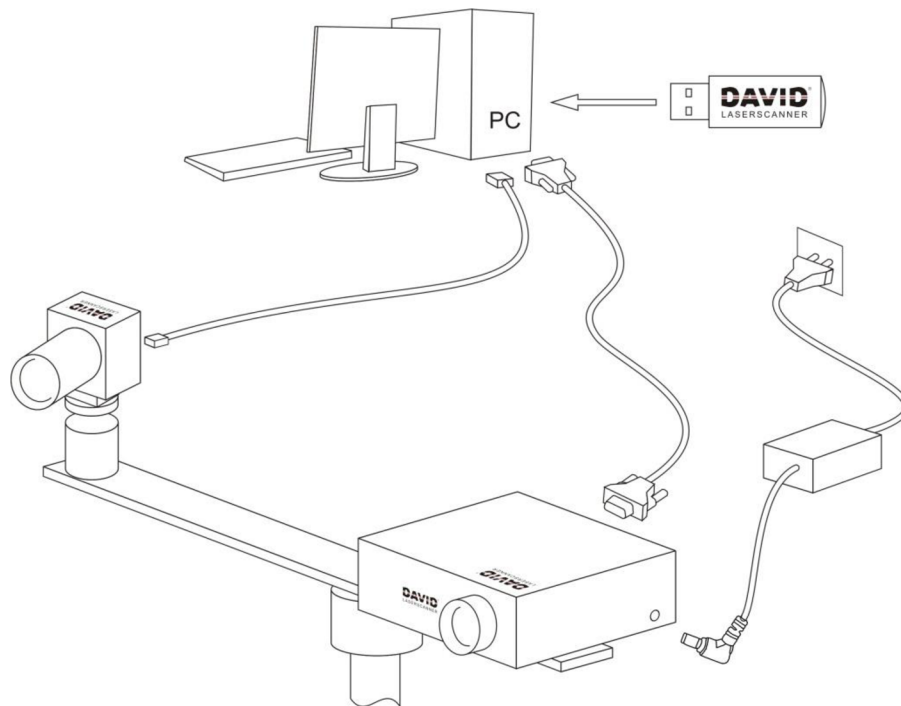
V kapitole o návrhu modelových úloh se nachází podrobný návod zapojení hardwaru, nastavení softwaru a dvě vzorové úlohy. Jedna pro jednodušší těleso a druhá pro tvarově složitější těleso. Dále je zde pojednáno o skládání obrazu, otočném stolu a jednotlivých výstupech z programu.

### 6.1 Zapojení HW

Všechny zmíněné části hardwaru je potřeba správně zapojit a nastavit, aby sken dosahoval co nejvyšší kvality. Jako první umístíme na posuvníky HD kamery a dataprojektor, které následně připevníme na hliníkovou posuvnou kolejnici, dataprojektor se nachází uprostřed, na krajích kolejnice jsou dvě HD kamery. Kolejnici umístíme pevně na stativ, aby nedocházelo k chybám důsledkem nevodného pohybu celé lišty. Dataprojektor je potřeba zapojit přes HDMI kabel k počítači, ze kterého hodláme celé skenování řídit. Dále je potřeba dataprojektor zapojit do elektrické sítě, aby mohl být napájen. Kamery se připojují pouze k počítači přes dva USB kabely - každá kamera má tedy svůj USB port.

Nyní přichází na řadu kalibrační panel, který složíme do pravého úhlu a polohu zafixujeme plastovými lištami. Na kalibračním panelu nalezneme dohromady čtyři mřížky pro kalibraci. První, největší nalezneme na jedné celé straně, další tři se nachází na straně druhé. Velikost mřížky volíme dle velikosti skenovaného objektu. Je nelogické volit největší mřížku pro malý objekt velikosti hrací kostky a naopak nejmenší mřížku pro objekt velký. Dochází pak k nekvalitnímu oskenování nebo se objekt nemusí správně oskenovat vůbec.

Dále připravíme otočný stůl, který má své místo před kalibrační deskou. Má svůj vlastní přívod elektrické energie, je tudíž nutné ho zvlášť zapojit do sítě. Přes USB kabel je spojen opět s řídicím počítačem. Schéma zapojení vidíme na obrázku č. 17.



Obrázek 17 - Schéma zapojení hardware

(Převzato a upraveno z [20])

Když máme připravenou kalibrační desku, před ní postaven otočný stůl, kamery a projektor na stativu, je čas pro nastavení výšky a úhlu celého stativu. Stativ zvedneme a zaaretujeme ve výšce kalibrační desky. Nyní je vhodné projektor zapnout, měl by být už připojen k počítači a tudíž promítat plochu počítače. Je to lepší z toho důvodu, že vím, jak daleko je potřeba oddálit celý stativ, pro lepší nastavení sklonu, pod kterým budou kamery snímat a projektor promítat strukturované světlo. Pokud mám vše nastaveno, je potřeba zapnout program HP 3D Scan.

V programu se přesuneme na lištu a přepneme se do záložky Instalace. Vpravo vidíme Ovládání kamery. Sejmeme z HD kamer na stativu ochranné krytky, ihned vidíme na počítači u ovládání kamery, že kamery již snímají prostor. Nejprve najdeme polohu na posuvné kolejnici, ze které budou kamery nejlépe snímat celý prostor pro skenování. Dalším krokem je otáčení kolečkem na objektivu, které slouží k zaostření kamery. Při otáčení sledujeme displej počítače a hledáme polohu, kde bude kamera co nejostřejší. Tento postup opakujeme u druhé kamery. Obě kamery v poloze zaaretujeme. Kamery jsou zaostřeny, je tedy čas přejít ke kalibraci.



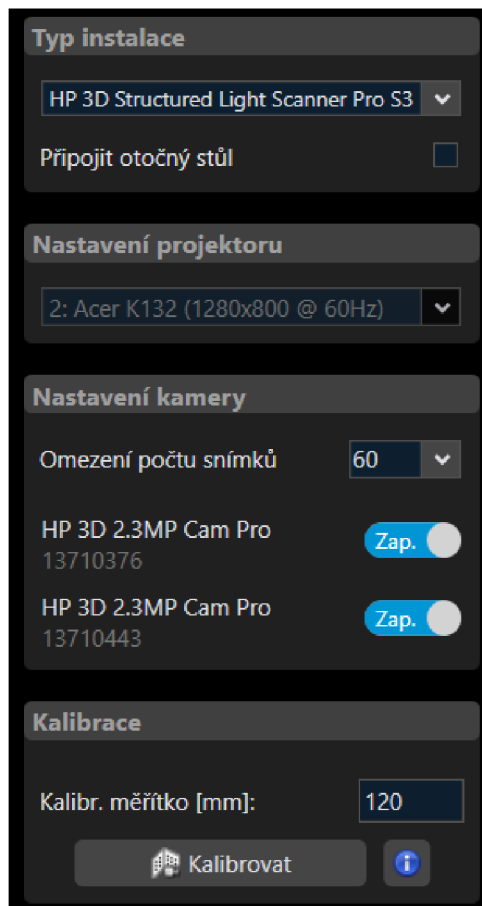
## 6.2 Nastavení základních parametrů skenování v SW

Nejprve je potřeba zkalibrovat zařízení se softwarem a následně můžeme nastavovat parametry skenování v softwaru.

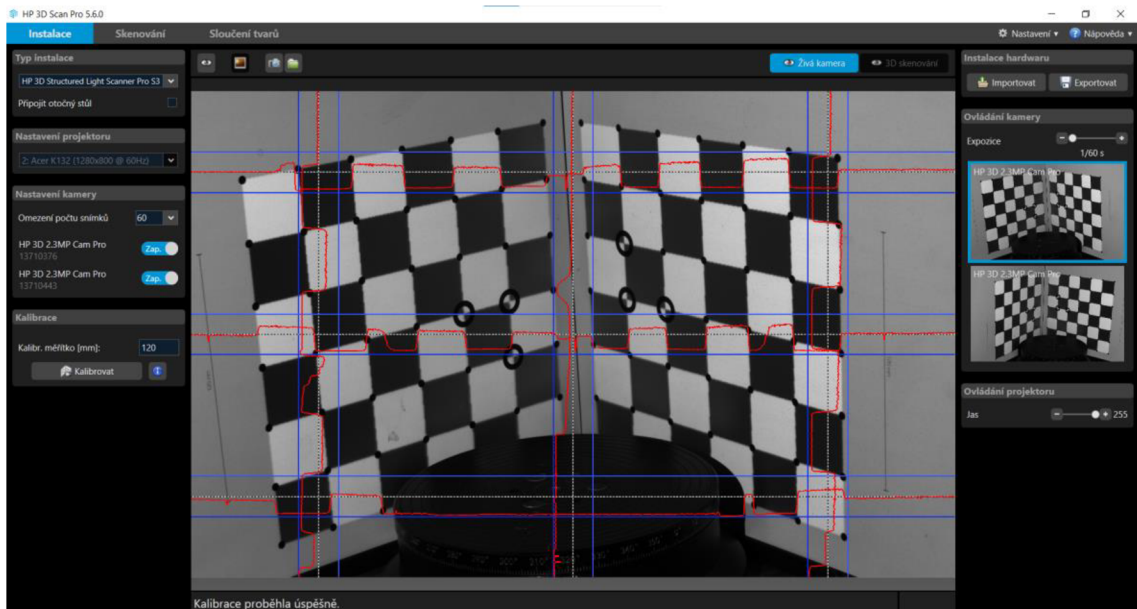
### 6.2.1 Kalibrace

Úplně prvním parametrem, který je potřeba nastavit v softwaru, je typ instalace. Tím je myšleno, jaký druh skeneru pro dané skenování používám. Pokud se skener nevyplní sám, tak v nabídce vybereme HP 3D Structured Light Scanner Pro S3. Dalším důležitým parametrem je nastavení projektoru. Zde vybírám typ používaného projektoru, konkrétně pro naše účely to je Acer K132 (1280x800 @ 60 Hz), jak je vidět na obrázku č. 18.

V nastavení kamer zapneme obě kamery a můžeme nastavit omezení počtu snímků. Většinou necháváme na nejvyšší hodnotě nebo bez omezení. Po pravé straně nalezneme náhled kamer, ty už máme zaostřeny a ukotveny na svém místě, pod nimi se nachází ovládání projektoru, kde jas necháme na nejvyšší možné hodnotě. Nyní se vrátíme k levé straně k parametru kalibrace. Kalibrační měřítko nastavíme dle velikosti kalibrační mřížky, kterou jsme si vybrali podle velikosti skenovaného objektu. Vše je nastaveno, můžeme zmáčknout tlačítko kalibrovat. Následuje různě strukturované světlo z projektoru, které je promítáno na kalibrační desku. Výsledkem kalibrace je šachovnice, kterou vidíme na obrázku č. 19. Ve chvíli kdy program zahlásí hotovou kalibraci, můžeme kalibrační desku dát stranou nebo ji nechat jako pozadí pro skenování.



Obrázek 18 - Nastavení základních parametrů software

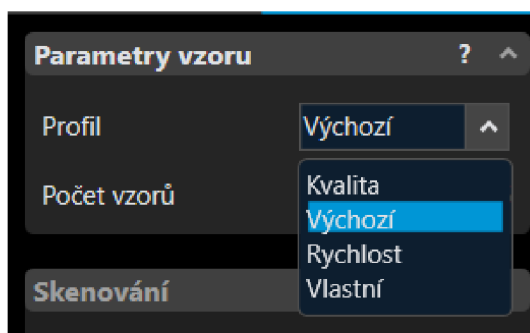


Obrázek 19 - Výsledek kalibrace

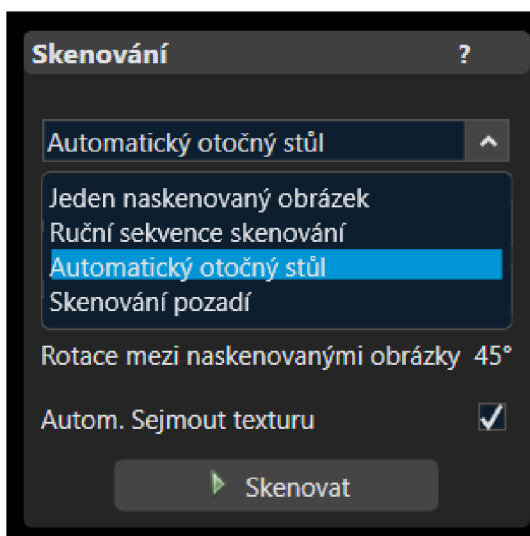
## 6.2.2 Skenování

Kalibraci máme dokončenu, přesuneme se na horní liště do záložky Skenování. Vlevo nahoře nalezneme jako první parametry vzoru. Necháváme výchozí jako na

obrázku č. 20, kdy si software vyhodnotí sám počet vzorů, které jsou potřeba pro optimální poměr kvalita – rychlost. Samozřejmě lze zvolit i rychlost na úkor kvality a obráceně. U skenování na obrázku č. 21 zvolíme nejprve skenování pozadí, kdy dojde po potvrzení k oskenování prostředí, které bude automaticky software odebírat ze skenování. Tato funkce je velkou výhodou, dochází totiž k minimálním rušivým elementům skenu a jejich následné, někdy dost náročné odmazávání z výsledného hotového oskenovaného modelu. Poté ve stejné kolonce vybereme druh skenování. Mohu buď ručně otáčet daný předmět a provádět jednotlivé skeny nebo použijeme rychlejší variantu, kterou je otočný stůl, máme-li ho k dispozici.



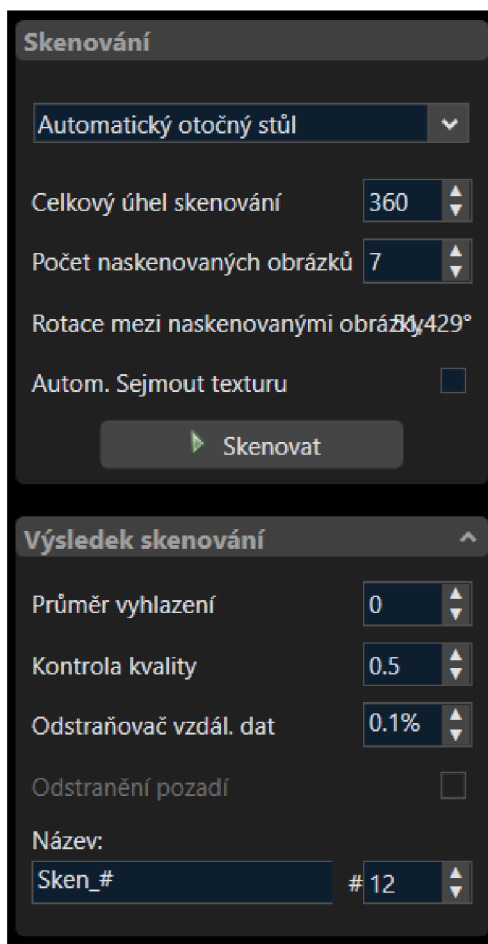
Obrázek 20 - Parametry vzoru



Obrázek 21 - Výběr druhu skenování

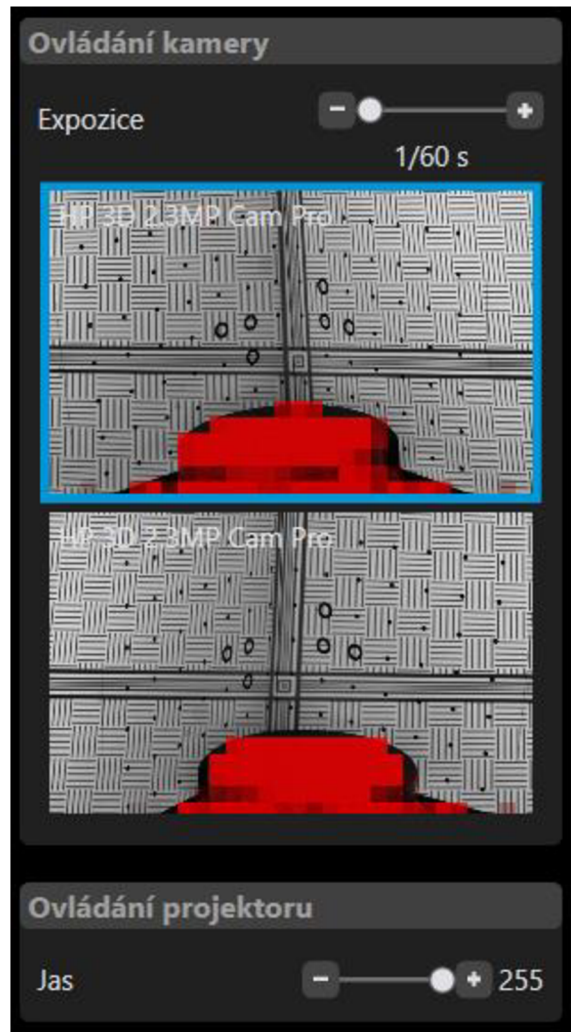
Otočný stůl velmi zkvalitňuje, urychluje a usnadňuje sestavení výsledného oskenovaného modelu. Je-li k dispozici, je rozhodně vhodné ho použít. Mohu nastavit celkový úhel skenování, který ovlivňuje rotaci mezi jednotlivými obrázky, tu si software vypočítává sám. Počet skenů lze také nastavit, obecně platí čím více skenů, tím přesnější výsledný model, avšak delší celková doba skenování. Pokud chceme zachytit strukturu objektu, můžeme si zvolit v nabídce její sejmutí.

Výsledek skenování nabízí průměr vyhlazení, kontrolu kvality a odstraňovač vzdálených dat. Tyto hodnoty necháváme nastaveny tak, jak je nastavil sám software. Hodnoty vidíme na obrázku č. 22. Velmi důležité je zde zaškrtnout volbu odstranění pozadí, abychom si usnadnili práci, jak již bylo výše zmíněno. Dále lze nastavit název a číslování jednotlivých skenů.



Obrázek 22 - Nastavení skenování a dalších parametrů

Na obrázku č. 23 vidíme vizualizaci obou kamer a nastavení jasu, které se nachází na pravé straně softwaru. Nic nenastavujeme a neměníme. Můžeme zde pozorovat, jak kamery zachycují obrazy v průběhu pořizování jednotlivých skenů.



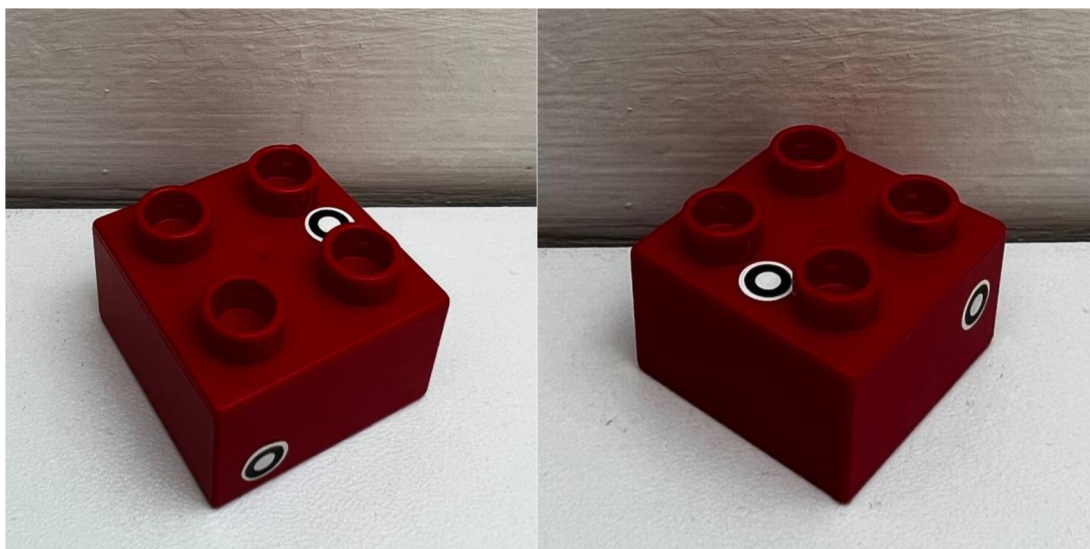
Obrázek 23 - Ovládání kamery a ovládání projektoru

### 6.3 Skenování hrací kostky

V kapitole 7.1 Zapojení hardware nalezneme podrobný popis, jak všechny potřebné komponenty hardwaru zapojit a připravit pro skenování. Tento krok je u všech skenování stejný, proto jej nebudu znovu zdlouhavě popisovat. Dalším důležitým krokem je kalibrace, která je opět důkladně popsána v kapitole 7.2.1 Kalibrace. V neposlední řadě nesmíme zapomenout na nastavení softwaru pro správný průběh skenování. Podrobně popsany tento krok nalezneme v kapitole 7.2.2 Skenování.

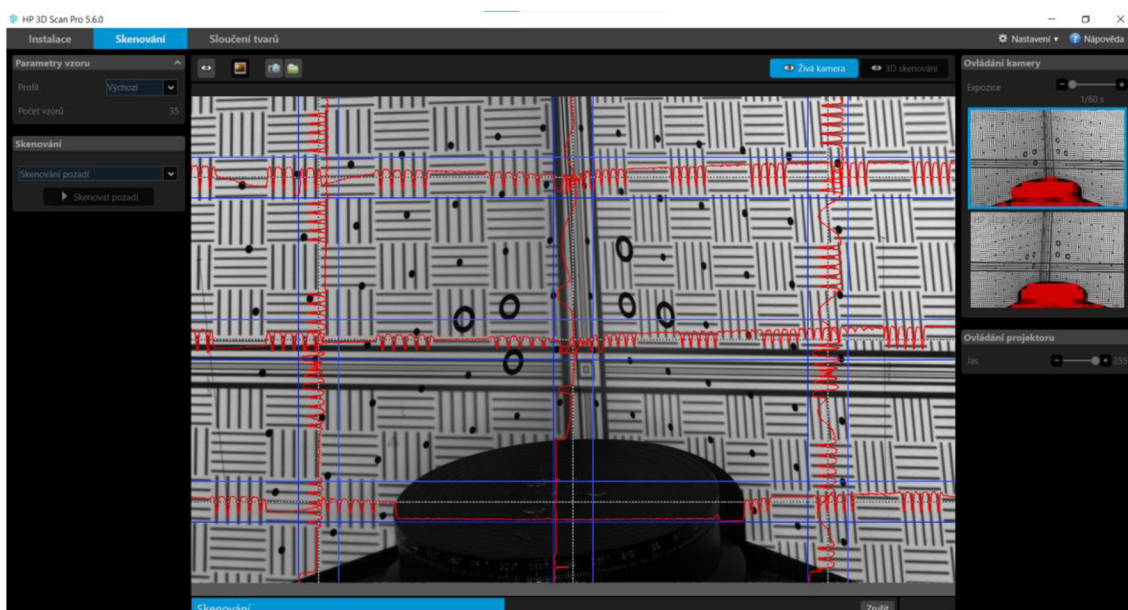
Před skenováním nejprve prohlédneme a zhodnotíme povrch materiálu, pokud je materiál velmi lesklý nebo tmavý, je potřeba ho trochu mechanicky zesvětlit a zmatnit, například poprášit křídou nebo postříkat křídovým sprejem. Potřebujeme upravit předmět pouze při skenování a ne ho trvale poškodit. Proto je křída ideální, jelikož se dá snadno smýt ze skenovaného předmětu.

Dalším krokem je nalepení kontaktních bodů. Kostka z lego duplo není nijak strukturovaná, proto budou stačit tři kontaktní body. U jednodušších objektů není potřeba tolik kontaktních bodů, avšak nevádí ani větší počet. Konkrétní rozmístění bodů je vidět na obrázku č. 24.



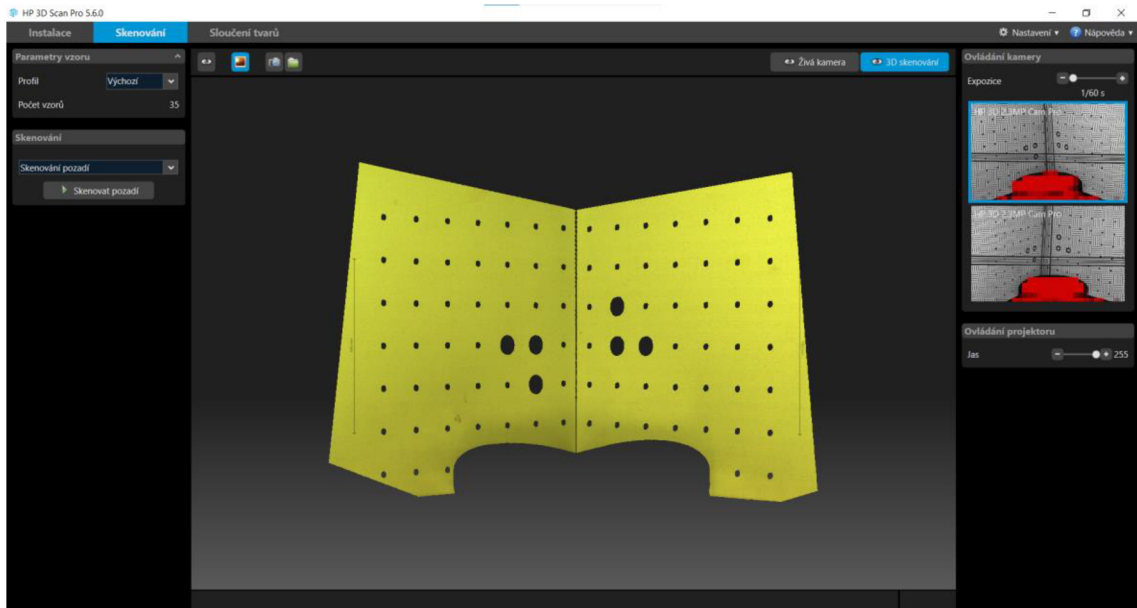
Obrázek 24 - Kontaktní body na hrací kostce

Podle předchozích kapitol máme nastaven software HP 3D Scan a hardware HP 3D Structured Light Scanner Pro S3. Kalibrační deska posloužila při skenování hrací kostky jako pozadí. Přistoupíme nyní ke skenování pozadí pro jednodušší finální úpravu a skládání jednotlivých skenů k sobě. Na obrázku č. 25 vidíme průběh skenování pozadí, na obrázku č. 26 je již oskenované pozadí.



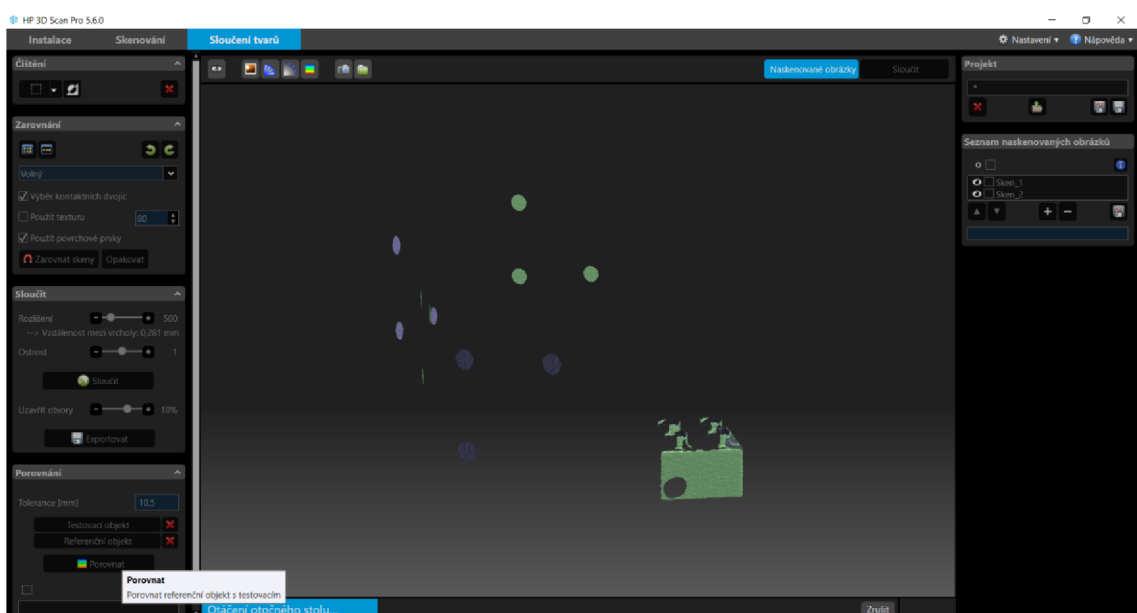
Obrázek 25 - Průběh skenování pozadí



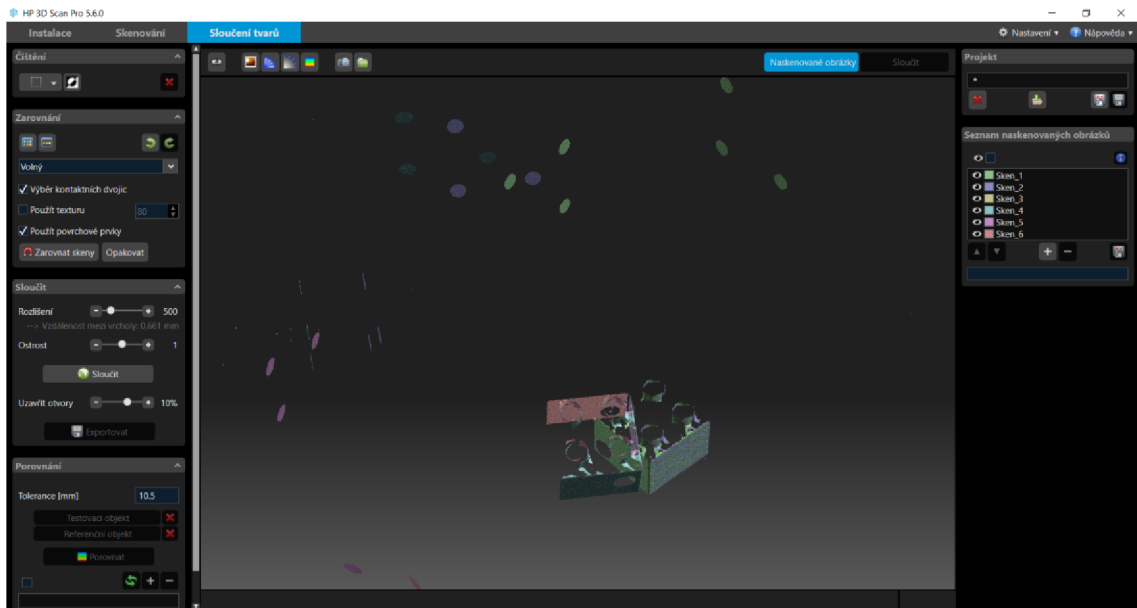


Obrázek 26 - Oskenované pozadí

Ve chvíli, kdy máme oskenované pozadí, překlikneme v softwaru na automatický otočný stůl, nastavíme počet snímků na 6, jelikož se jedná o jednoduchý předmět. Pokud chceme dosáhnout vyšší kvality výsledného modelu, můžeme zvolit více snímků. Následně umístíme předmět na otočný stůl, zkontrolujeme kamery a můžeme zahájit samotné skenování. Program si pak sám řídí skenování a otáčení stolu. Průběh skenování je zachycen na obrázku č. 27 a č. 28. Jednotlivé skeny jsou v průběhu skenování programem skládány do sebe, jestliže máme nalepen dostatek kontaktních bodů, je program schopný velmi dobře složit všechny skeny dohromady. Velmi nám usnadňuje práci při konečných úpravách.



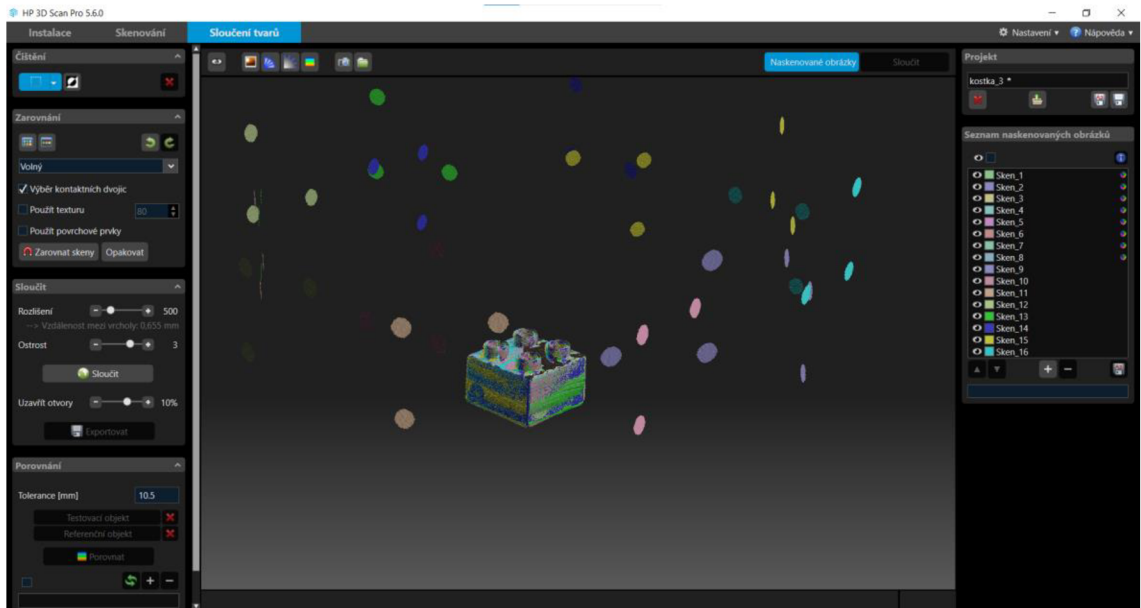
Obrázek 27 - Průběh skenování hrací kostky



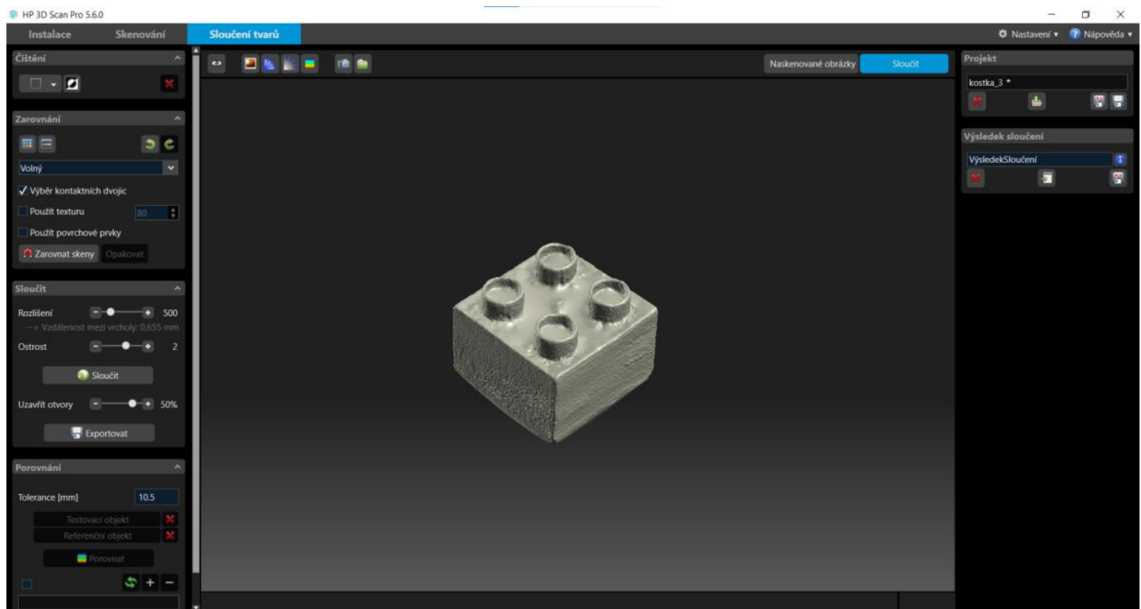
**Obrázek 28 - Skládání skenů v průběhu skenování hrací kostky**

Program se po dokončení jednotlivých skenů přepne na záložku SLOUČENÍ TVARŮ, kde upravujeme, slučujeme, mažeme a doladujeme finální naskenovaný model. Na obrázku č. 29 vidíme hrací kostku ihned po oskenování. Je potřeba smazat tělesa, která ke kostce nepatří a byla oskenována omylem. Vyberu na levém panelu volbu čištění, kde mohu pomocí obdélníku vybrat relativně velkou plochu, a rychleji vyčistím celou plochu od nežádoucích objektů. Hrací kostka se složila hezky díky kontaktním bodům, tudíž nemusím zarovnávat jednotlivé skeny ručně. Nyní pouze nastavím hodnoty u sloučení. Ostrost nastavíme na 2 a otvory uzavřu na 50 %, aby se všechny otvory zaplnily tak, jak mají. Dáme sloučit a dostaneme výsledný objekt na obrázku č. 30 a 31.

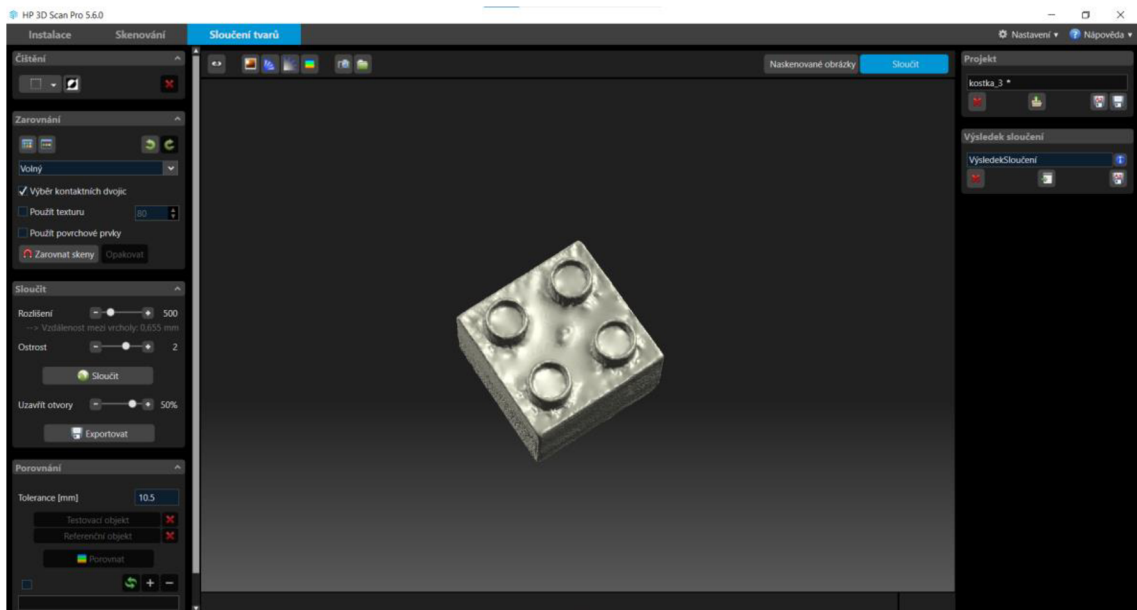




Obrázek 29 - Výsledek skenování



Obrázek 30 - Model hrací kostky



Obrázek 31 - Model hrací kostky

#### 6.4 Skenování složitějších objektů (sošky)

Skenování opět začínáme zapojením všech potřebných komponentů zařízení popsané v kapitole 7.1 Zapojení hardwaru. Následuje nastavení hardwaru, jako první je na řadě kalibrace pro správné snímkování modelu popsané v kapitole 7.2.1 Kalibrace. Dalším krokem je nastavení samotného softwaru, kde nastavuji, kolik snímků bude pořízeno a jak bude probíhat otočení stolu. Nastavení nalezneme v kapitole 7.2.2 Skenování.

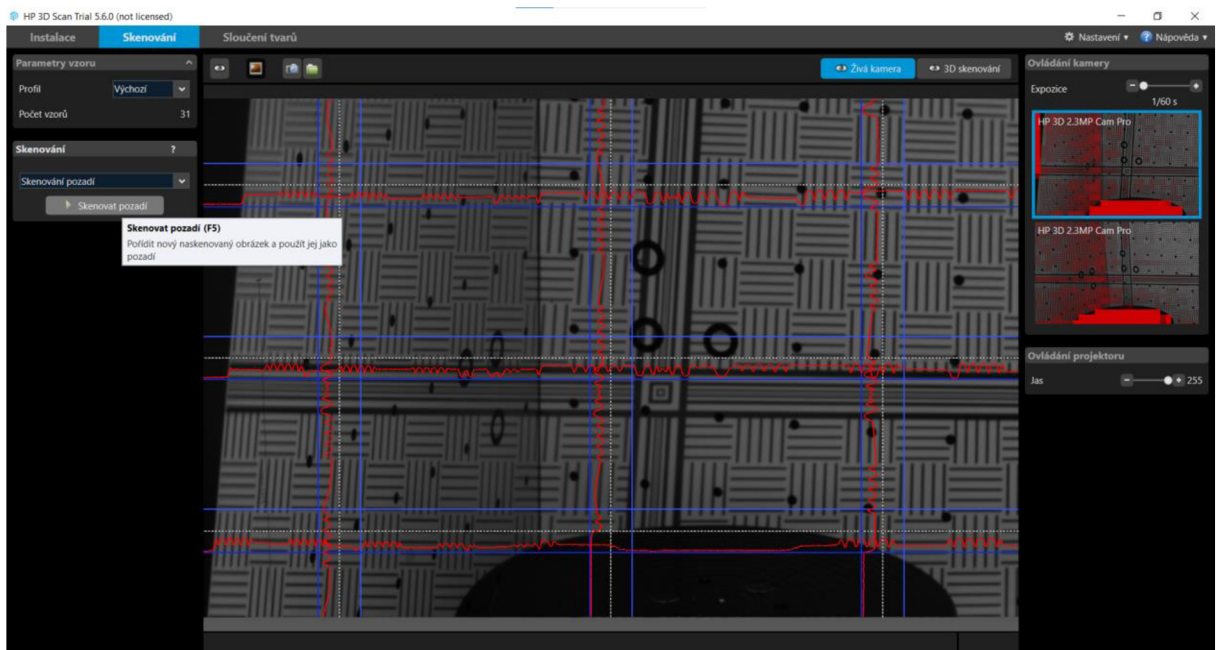
Před samotným skenováním je potřeba prohlédnout povrch materiálu předmětu, který chceme skenovat. Pokud je povrch tmavý a lesklý je potřeba ho například křídou poprášit, aby skener byl schopný snímat i ty nejmenší detaily. Pokud tento krok neuděláme, může se stát, že se předmět oskenuje velmi špatně nebo skoro vůbec, skener ho totiž nedokáže rozlišit od pozadí. Tento problém jsem naštěstí řešit nemusela, jelikož soška anděla, kterého budu skenovat, je světlá a strukturovaná.

Zhodnotili jsme povrch a nyní nalepíme kontaktní body. Ty slouží ke správnému propojení jednotlivých skenů k sobě. Obecně platí, že čím více kontaktních bodů, tím lépe sám program poskládá finální model skenovaného předmětu. Jelikož soška je malá, ale členitá, použila jsem pět bodů. Rozmístění bodů je na obrázku č. 32, snažíme se body rozmístit tak, aby z každé strany modelu byl vždy alespoň jeden vidět.

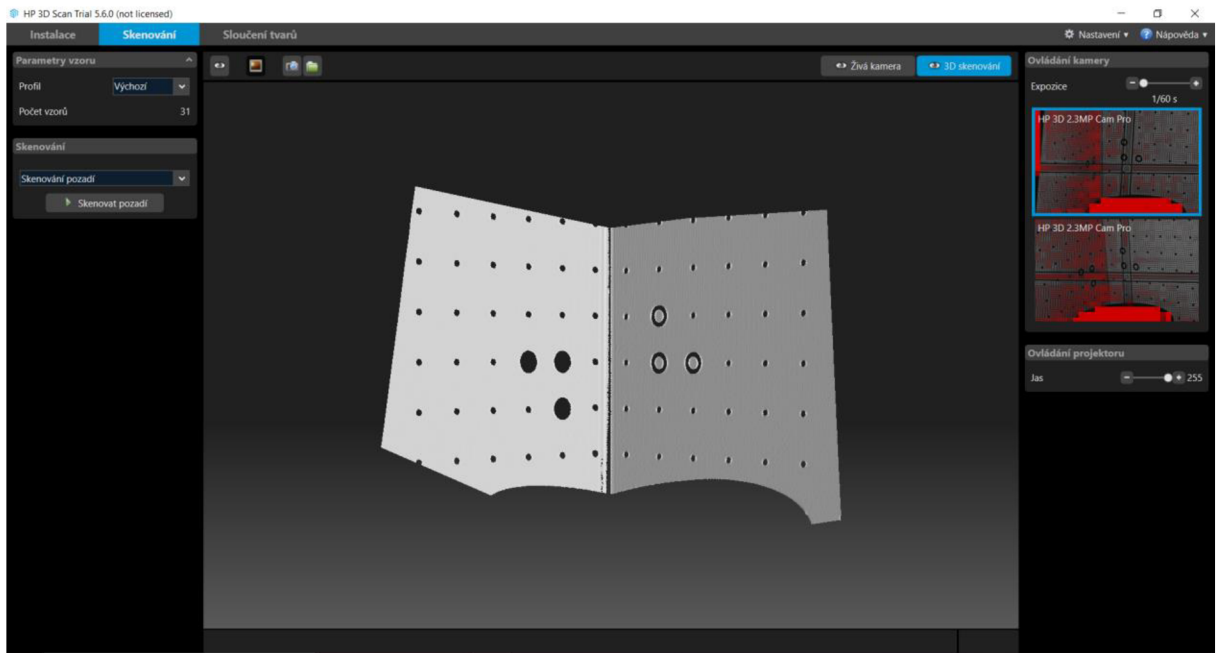


Obrázek 32 - Rozmístění kontaktních bodů na sošce

Software HP 3D Scan a hardware HP 3D Structured Light Scanner Pro S3 máme nastavený dle předchozích kapitol. Zahájíme skenování pozadí pro lepší složení naskenovaných obrazů. Na obrázku č. 33 vidíme probíhající skenování obrazů, na obrázku č. 34 vidíme již hotový sken pozadí.

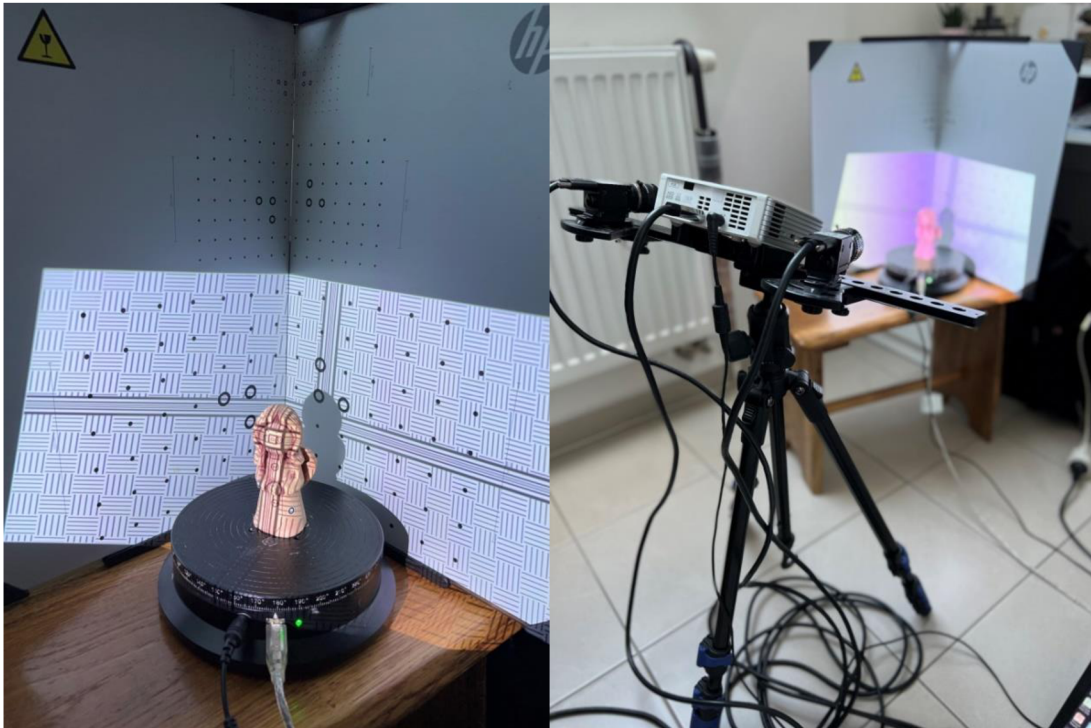


Obrázek 33 - Skenování pozadí



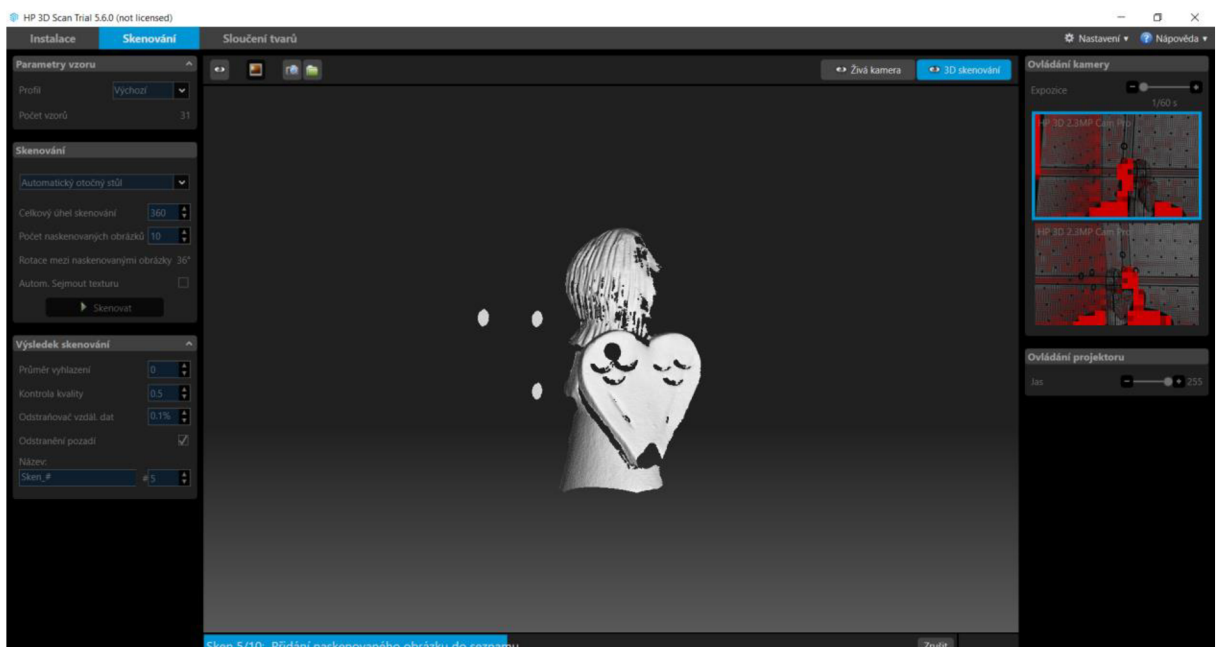
Obrázek 34 - Hotový scan pozadí

Nyní postavíme sošku s nalepenými kontaktními body doprostřed otočného stolu. Zkontrolujeme, zda je vše na svých pozicích a že nic nepřekáží při snímání kamer a promítání strukturovaného světla na předmět. Kalibrovací desku jsem pro toto skenování nechala jako pozadí. V softwaru si zvolíme na horní liště v záložce skenování automatický otočný stůl a počet naskenovaných obrázků. Abych dosáhla přesnějšího modelu, jelikož se jedná o složitější předmět, zvolila jsem 10 naskenovaných obrázků. Ve výsledku skenování jsem nechala nastavené parametry dle výchozího nastavení a zaškrtnula volbu odstranění pozadí.



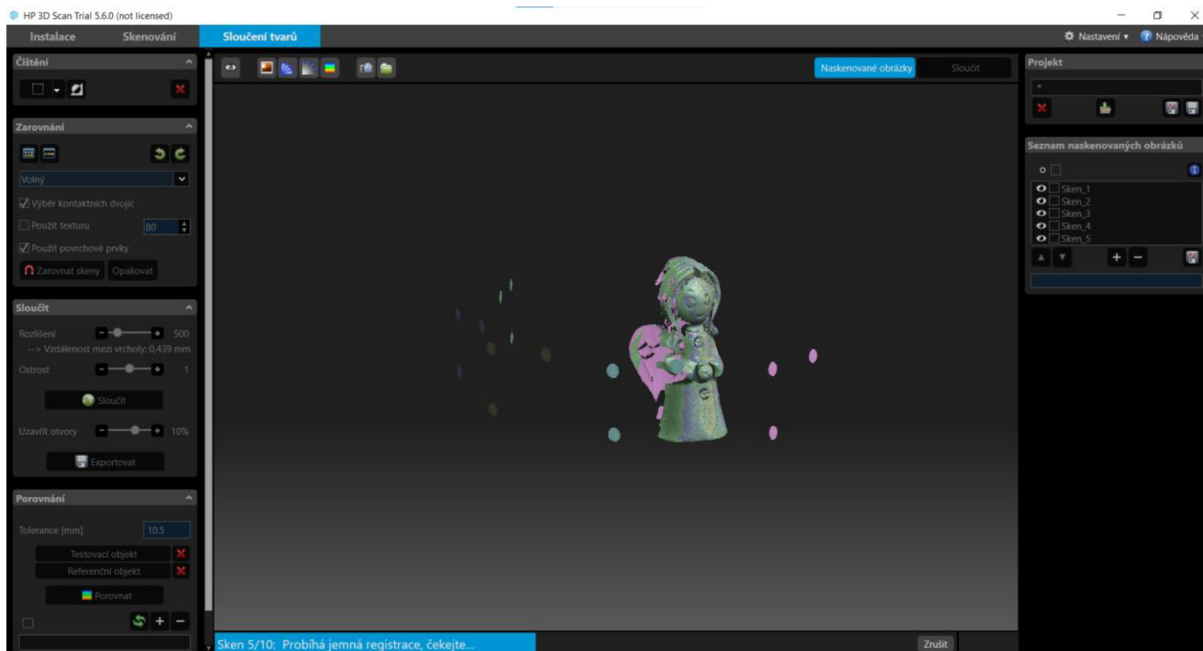
Obrázek 35 - Průběh skenování

Spustíme skenování, při kterém se provede deset skenů s rotací  $36^\circ$  mezi jednotlivými obrázky. V softwaru sledujeme, jak se jednotlivé skeny skládají do sebe. Vzhledem k tomu, že máme dostatečný počet kontrolních bodů, dochází ke skládání jednotlivých skenů bez problémů. To můžeme vidět na obrázku č. 35 a č. 36.



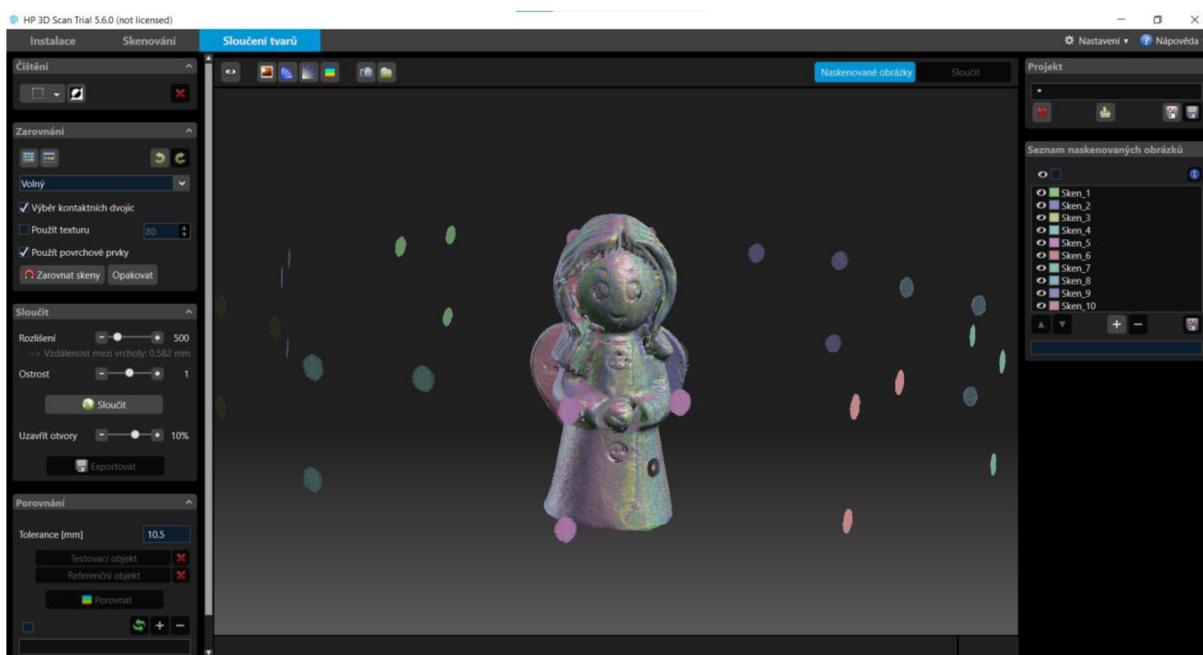
Obrázek 36 - Průběh skenování v softwaru





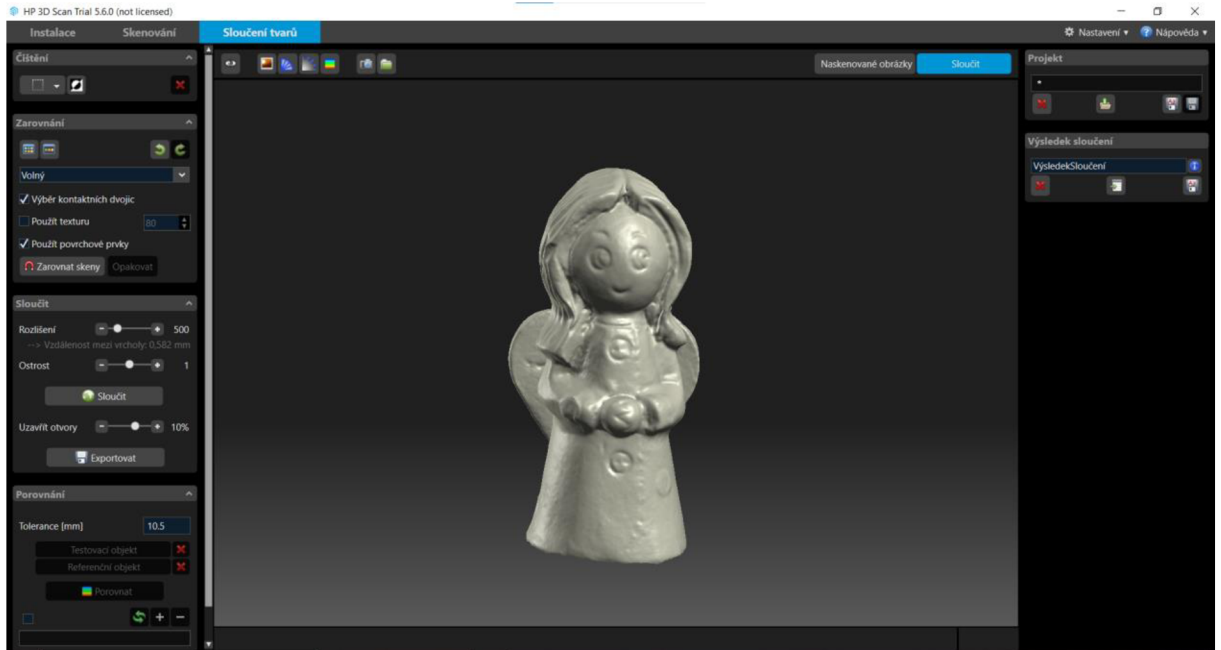
Obrázek 37 - Slučování skenů v průběhu skenování

Po dokončení všech deseti skenů dojde k celkovému sloučení v jeden ucelený model. Může dojít k nesprávnému sloučení vlivem nedostatku kontaktních bodů. V tom případě je nutné provést celé skenování znovu s více kontaktními body nebo přistoupit k ručnímu sloučení jednotlivých skenů pomocí výběru kontaktních dvojic. Vybereme na skenu stejný kontaktní bod a propojíme. Při tomto skenování se nic takového nestalo, takže můžeme doladit jen malé nedokonalosti v podobě teček okolo vzniklého modelu. Snadno tečky odstraníme pomocí parametru čištění v záložce sloučení tvarů na horní liště. Pomocí výběru obdélníku během chvilky zbavíme celý model nežádoucích teček.

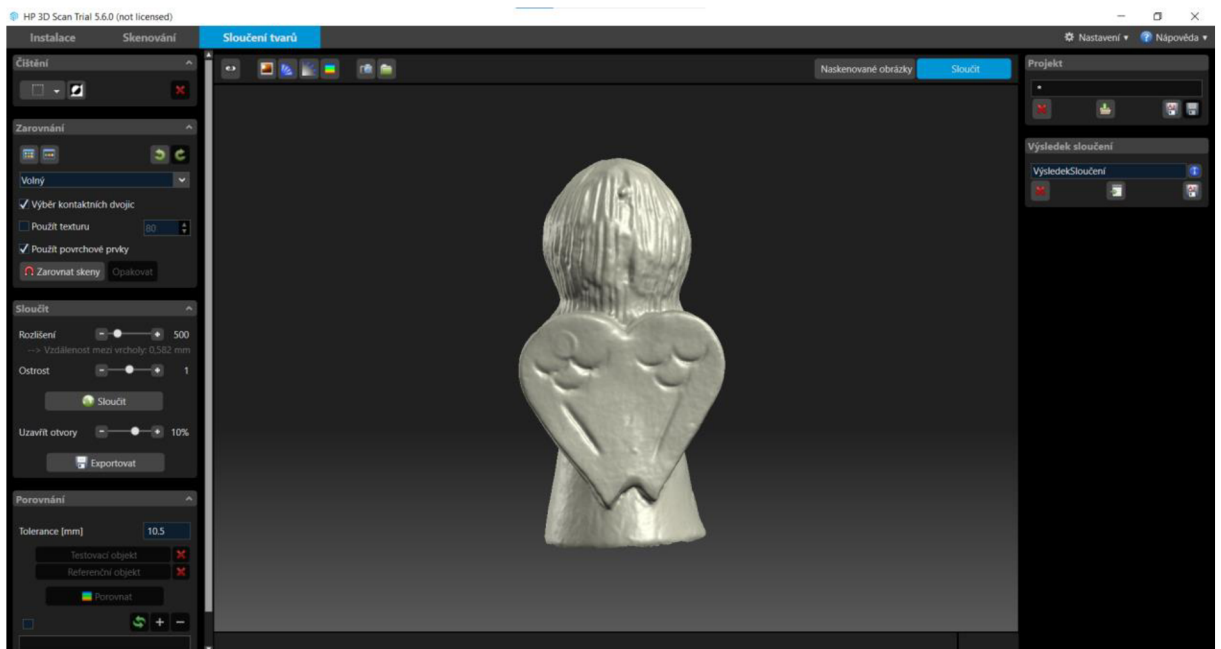


Obrázek 38 - Kompletní model sošky před úpravou

Posledním krokem je sloučení tvarů, kdy můžeme nastavit ostrost modelu a procentuální uzavření otvorů. Rozhodla jsem se, že ostrost nechám na hodnotě 1 a otvory uzavřu jen na 10 %, aby se mi spodní okraj sošky jemně zakulatil dovnitř – při následném tisknutí nebyl ostrý. Obrázky č. 39 a č. 40 vyobrazují výsledný model.



Obrázek 39 - Model sošky zepředu

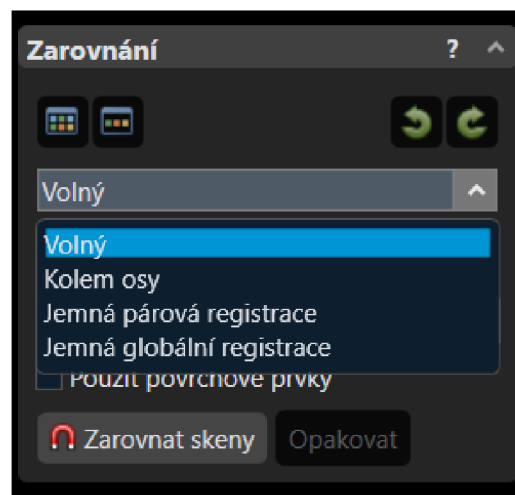


Obrázek 40 - Model sošky zezadu

## 6.5 Složení obrazů

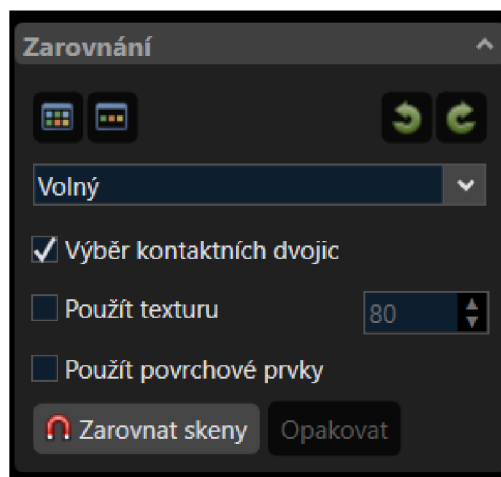
Složení obrazů používáme, pokud výsledný model není správně poskládan z jednotlivých skenů. K chybě při automatickém složení může dojít hned z několika důvodů. Jedním je nedostatek nalepených kontaktních bodů na skenovaném objektu. Dalším důvodem může být špatná kalibrace zařízení, nevhodné nastavení hardwaru, atd. Dochází k tomu, že software není schopen výsledný model správně složit. V takovém případě musíme ručně poskládat skeny, které do sebe nezapadají. Na výběr máme z několika variant.

V programu HP 3D Scan 5 zvolíme na liště SLOUČENÍ TVARŮ a v levém sloupci zvolíme zarovnání. Máme na výběr ze čtyř možností, které jsou na obrázku č. 40. Nejčastěji volíme výběr zarovnání volný. Můžeme tedy libovolně, aniž bychom byli na cokoliv vázání, vybrat dva kontaktní body, podle kterých se složí skeny k sobě. Dalším výběrem je struktura, kdy dochází ke složení podle oskenované textury předlohy. Jako poslední můžeme použít povrchové prvky, které jsou výrazné a software je tedy podle nich schopný dva skeny složit k sobě. Libovolnou volbu označíme zaškrtnutím příslušného pole jako na obrázku č. 42. Označit můžeme i více možností najednou a dosáhnout tím přesnějšího složení skenů.



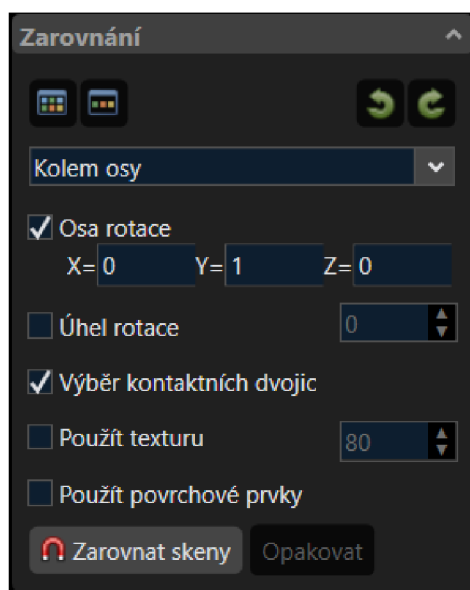
Obrázek 41 - Volba druhu zarovnání





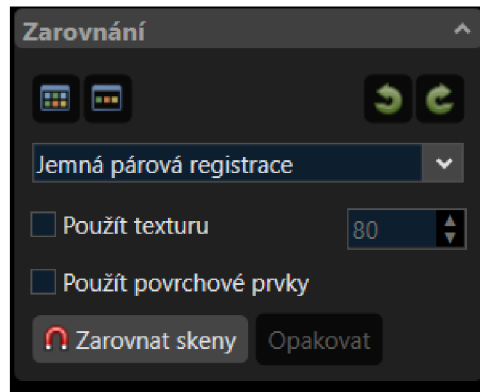
Obrázek 42 - Zarovnání volný

Další možností je zarovnání kolem osy. Musíme zvolit souřadnice os x, y, kolem kterých budeme jednotlivé skeny zarovnávat. Přidat navíc můžeme úhel rotace, ostatní možnosti jsou stejné. Výběr kontaktních dvojic, textura a povrchové prvky. Možnost zarovnání kolem osy na obrázku č. 43 není nejšťastnější volbou, jelikož je relativně složitá a více časově náročná.



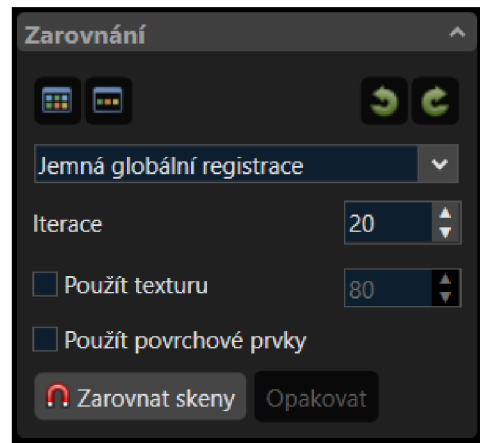
Obrázek 43 - Zarovnání kolem osy

Jemná párová registrace skládá dva skeny podle textury, povrchových prvků nebo kombinací obojího dohromady.



Obrázek 44 - Zarovnání jemná párová registrace

Poslední možností je jemná globální registrace, která se zaměřuje na všechny skeny dohromady. Můžeme zde nastavit iteraci, texturu a povrchové prvky, což vidíme na obrázku č. 45.



Obrázek 45 - Zarovnání jemná globální registrace

Vybereme druh zarovnání, nastavíme všechny potřebné parametry, vybereme kontaktní dvojice, je-li to třeba označením na dvou skenech pomocí levého tlačítka myši. Zmáčkneme tlačítko zarovnat skeny a počkáme, až software příkaz splní. Můžeme opakovat, dokud není oskenování kompletní podle našich představ.

## 6.6 Otočný stůl

Jedná se o velmi užitečného pomocníka při skenování. Otáčí automaticky se skenovaným objektem dle informací poskytnutými softwarem. Pokud použijeme otočný stůl, dosáhneme mnohem efektivněji výsledku. Bez použití otočného stolu musíme objektem během skenování otáčet sami, tím pádem nikdy nebudeme tak přesní jako při použití otočného stolu.

Stůl není součástí základního balení HP 3D Structured Light Scanner Pro S3, je tudíž nutné ho přikoupit zvlášť. Nicméně velmi rychle zjistíte, že bez něj je manipulace se skenovaným objektem náročná. Dalším úskalím skenování bez stolu je následná, mnohem složitější úprava jednotlivých skenů při skládání obrazů vzniklých skenováním.

Povrch stolu je hladký s jemnými kruhovými vrypy pro zajištění stability modelu při otáčení. Kolem dokola je vyobrazena osa se stupnicí od 0° do 360°, podle které se stůl otáčí dle pokynů softwaru. Napájení probíhá pomocí klasického AC adaptéru na 12 V. Světýlko pro vyobrazení správného chodu při skenování modelu je příjemným bonusem.

V softwaru si navolíte počet naskenovaných obrázků a tím dojde k vypočítání úhlu mezi jednotlivými skeny. Úhel je vždy pro všechny skeny stejný, například počet naskenovaných obrázků zvolím 10, tím pádem úhel mezi naskenovanými obrázky bude pro všechny 36°. Nastavení softwaru je pro každý objekt jiné, avšak princip zůstává pořád stejný.

## 6.7 Výstupy z programu

Získaná data lze použít pro 3D tisk, kontrolu tvarů, produktovou prezentaci, archeologii, dokumentaci kulturního dědictví, design, počítačové animace a mnoho dalších. HP 3D Structured Light Scanner Pro S3 umožňuje výstup ve třech různých variantách formátů OBJ, STL, PLY.

### *a) Přípona OBJ*

Data získána z výstupu OBJ jsou přehlednější pro další úpravu povrchu a obsahují navíc i texturu modelu, která byla získána při 3D skenování. Trojúhelníková síť zachycuje povrch a navíc i plochu modelu pro realistický dojem. [11]

### *b) Přípona STL*

Jedná se o nejjednodušší vyjádření 3D modelu. Výstupem jsou přehledná data pro další úpravu, jelikož jsou vyjádřena pomocí trojúhelníkové sítě. Trojúhelníky utvářejí povrch modelu, výsledný model působí uceleněji a reálněji. Hlavní výhoda výstupu spočívá v použití přímého tisku na všech 3D tiskárnách. Nevýhoda STL

výstupu tkví v jeho čtení CAD programy, které ho umožňují přečíst pouze jako grafiku.  
[11]

*c) Přípona PLY*

Standardní soubor dat popisující oskenovaný model jako sbírku polygonů. Model je vytvořen z kolekce polygonů, která je doplněna seznamem vrcholů určujících tvar každého jednoho polygonu. Jedná se o výstup vytvořený na Stanfordské univerzitě, a tudíž jej můžeme zaznamenat jako formát Stanfordského trojúhelníku. [12, 13]

## 7 Vytvoření www stránek

Posledním úkolem práce bylo vytvořit www stránky s návodem jak používat 3D skener HP 3D Structured Light Scanner Pro S3. Na www stránky jsem umístila již vytvořené návody v textové podobě na nastavení hardwaru a softwaru, skenování kostky jakožto jednoduššího tělesa a skenování sošky jakožto skenování složitějšího tělesa. Všechny návody jsou doplněny o video tutoriály.

Tvorba tutoriálu je celkem náročná, je tedy dobré si dopředu promyslet, jak a kdy jednotlivé kroky udělám. Prvním důležitým rozhodnutím je, kde budu video natáčet. Pro kvalitní tutoriál je třeba vybrat klidné místo, kde nebudu rušena vnějšími vlivy, které by se podepsaly na kvalitě videa. Pokud se rozhodnu nahrávat zvuk, je velmi dobré použít externí mikrofon, kterým dosáhnu vyšší kvality nahrávaného zvuku. Dalším krokem před samotným nahráváním je vytvoření poznámek a scénáře natáčení. Ušetříme si mnohem více času při střihu a minimalizujeme nepovedené záběry. Při natáčení se snažíme mluvit srozumitelně a v krátkých větách. Nakonec nesmíme zapomenout promyslet, pro koho vlastně video natáčíme. Zda je zaměřeno na žáky nebo dospělé publikum, jde o výukové video, instruktážní nebo relaxační. [14]

Já jsem se rozhodla vytvořit krátká, stručná a výstižná videa, jelikož sama takovýto formát videí preferuji. Videa jsou spíše instruktážní, tudíž uvádí krok po kroku, jak pracovat s jednotlivými částmi softwaru nebo hardwaru zařízení. V rámci diplomové práce jsem vytvořila těchto pět tutoriálů:

- Tutoriál na nastavení hardwaru
- Tutoriál na nastavení softwaru
- Tutoriál na skenování kostky
- Tutoriál na skenování sošky
- Tutoriál na složení skenů

Tutoriály lze shlédnout na webových stránkách <http://home.pf.jcu.cz/~kyklop/SERYM/3DScan/index.html>

## 8 Závěr

První část práce se zabývá základními pojmy, jako jsou triangulace, měření doby světla a optická interferometrie. Zároveň jsou zde popsány základy souřadnicového systému a metody digitalizace. Dále jsou pro zpřehlednění jednotlivé druhy 3D skenerů rozděleny podle typu použití. V práci se dále zmiňují základní parametry hardwaru a jednotlivé komponenty, které jsou popsány a rozděleny na samostatné části. Software HP 3D Scan 5 je rozebrán z hlediska požadavků, ovladatelnosti a funkcí.

Ve druhé části je vyličen návrh modelových úloh. Zpočátku se v této části popisuje zapojení jednotlivých částí hardwaru, přičemž je kompletně popsáno a doplněno o obrázkovou dokumentaci a doplněno o informaci, jak nastavit základní parametry softwaru HP 3D Scan 5. Nastavení zahrnuje tři hlavní funkce, které program nabízí - kalibraci, skenování a sloučení tvarů. Prvním naskenovaným objektem je hrací kostka, kde je popsán postup krok za krokem. Následně je doplněno o bohatou obrázkovou dokumentaci, čímž se stává návod přesnějším a komplexnějším. Druhým, složitějším objektem pro skenování je soška anděla. Poté následuje kapitola o skládání jednotlivých obrazů, otočném stole a výstupů z programů.

Závěrečným bodem této diplomové práce je popsání a vytvoření tutoriálu na [www stránkách](#). Tutoriály jsou výsledným produktem této práce. Mají sloužit jako návod ke skenování se zařízením HP 3D Structured Light Scanner Pro S3, které jsem obsluhovala v průběhu zpracování práce.

Z mého pohledu byly cíle této práce naplněny a doufám, že má práce bude sloužit jako návod pro pedagogy a širokou veřejnost, která se rozhodne pracovat s 3D skenerem.

## 9 Citovaná literatura

- [1] *3D skenování a modelování ve výuce na ZŠ* [online]. Plzeň, 2021 [cit. 2022-06-01]. Dostupné z: [https://otik.uk.zcu.cz/bitstream/11025/45210/1/BP-Honzik\\_final.pdf](https://otik.uk.zcu.cz/bitstream/11025/45210/1/BP-Honzik_final.pdf). Bakalářská práce. ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI. Vedoucí práce Mgr. Jan Fadrhonc.
- [2] *Výukový model 3D skeneru* [online]. Ostrava, 2018 [cit. 2022-06-01]. Dostupné z: [https://dspace.vsb.cz/bitstream/handle/10084/128511/HAL0106\\_FEI\\_N2649\\_26127041\\_2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y..](https://dspace.vsb.cz/bitstream/handle/10084/128511/HAL0106_FEI_N2649_26127041_2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y..) Diplomová práce. VŠB - Technická univerzita Ostrava. Vedoucí práce Doc. Ing. Petr Bilík, Ph.D.
- [3] *3D skenování, kontrola a měření součástí po výrobě 3D tiskem* [online]. Ostrava, 2018 [cit. 2022-07-01]. Dostupné z: [https://www.3dprint-research.com/wp-content/uploads/2019/01/Jansa\\_Jan\\_text\\_BP.pdf](https://www.3dprint-research.com/wp-content/uploads/2019/01/Jansa_Jan_text_BP.pdf). Bakalářská práce. VŠB - Technická univerzita Ostrava. Vedoucí práce Ing. Marek Pagáč, Ph.D.
- [4] *Metody 3D skenování objektů* [online]. Brno, 2015 [cit. 2022-03-28]. Dostupné z: [https://www.vut.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=103850](https://www.vut.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=103850). Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně.
- [5] KOSCHAN, Andreas, Sophie VOISIN, Ngozi ALI a Mongi ABIDI. 3D CAD mode generation of mechanical parts using coded-pattern projection and laser triangulation systems. *Assembly Automation* [online]. 2005, **25**(3), 230-238 [cit. 2022-07-01]. ISSN 0144-5154. Dostupné z: doi:10.1108/01445150510610953
- [6] *Využití 3D skenerů a 3D tiskáren na 1. stupni ZŠ* [online]. Brno, 2020 [cit. 2022-04-23]. Dostupné z: [https://is.muni.cz/th/hl2hz/Diplomova\\_prace-Pulkertova.pdf](https://is.muni.cz/th/hl2hz/Diplomova_prace-Pulkertova.pdf). Diplomová práce. Masarykova univerzita.
- [7] HP 3D Scan. *Growshapes* [online]. HP Development Company, L.P., 2017 [cit. 2022-06-01]. Dostupné z: [https://www.growshapes.com/uploads/2/5/6/0/25608031/hp\\_3d\\_structured\\_light\\_scanner\\_pros3.pdf](https://www.growshapes.com/uploads/2/5/6/0/25608031/hp_3d_structured_light_scanner_pros3.pdf)
- [8] *Skenování ve 3D* [online]. ABBAS, 2022 [cit. 2022-07-01]. Dostupné z: <https://www.skenovanive3d.cz/software/>
- [9] *HP* [online]. United States: Hewlett-Packard Development Company, L.P., 2016 [cit. 2022-06-04]. Dostupné z: <https://www.hp.com/us-en/campaign/3Dscanner/overview.html>
- [10] *SUDONULL* [online]. 2019 [cit. 2022-06-14]. Dostupné z: <https://sudonull.com/post/25999-HP-3D-Structured-Light-Scanner-Pro-S3-Review-and-Test>
- [11] *3D SCAN* [online]. Brno [cit. 2022-07-01]. Dostupné z: <https://www.3d-skenovani.cz/3d-skenovani/vystupni-data/>

- [12] *SouboryInfo* [online]. [cit. 2022-06-20]. Dostupné z: <https://soubory.info/extension/ply>
- [13] *Solvusoft* [online]. Jay Geater, 2018 [cit. 2022-06-20]. Dostupné z: <https://www.solvusoft.com/cs/file-extensions/file-extension-ply/>.
- [14] OU, Lisa. *How to make tutorial videos* [online]. **2021** [cit. 2022-06-28]. Dostupné z <https://cs.fonelab.com/resource/how-to-make-tutorial-videos.html>
- [15] *Youtube* [online]. HP Development Company, L.P., 2017 [cit. 2022-06-01]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=L0ACSJHWbWQ>
- [16] *Youtube* [online]. HP Development Company, L.P., 2017 [cit. 2022-06-01]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=F-rUbDxTnL4>
- [17] *Youtube* [online]. HP Development Company, L.P., 2017 [cit. 2022-06-01]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=j7zAMZgybaA&t=312s>
- [18] *TSI system* [online]. 2015 [cit. 2022-06-01]. Dostupné z: <http://www.tsisystem.cz/nedestruktivni-zkouseni/ultrazvukove-skenery-0/>
- [19] *3DSCANEXPERT*. [online]. 2017 [cit. 2022-05-04]. Dostupné z: <https://3dscanexpert.com/hp-3d-scanner-pro-s3-david-sls-3-review/>
- [20] *3D SCAN* [online]. Brno [cit. 2022-07-01]. Dostupné z: <https://www.3d-skenovani.cz/skenery/ukoncene-produkty/david/>



## 10 Seznam obrázků

Obrázek 1 – Triangulace.....	11
Obrázek 2 - Rozdělení 3D skenerů.....	13
Obrázek 3 - Princip rentgenového 3D skeneru.....	15
Obrázek 4 - Ultrazvukový skener.....	16
Obrázek 5 - Metoda strukturovaného světla (3D triangulace).....	18
Obrázek 6 - HD kamera.....	21
Obrázek 7 – Videoprojektor.....	22
Obrázek 8 - Hliníková posuvná kolejnice.....	22
Obrázek 9 - Posuvník fotoaparátu.....	23
Obrázek 10 - Trojitý stativ.....	24
Obrázek 11 - Otočný stůl.....	24
Obrázek 12 - Kalibrační panel.....	25
Obrázek 13 - Upozornění po zapnutí softwaru bez licence.....	28
Obrázek 14 - Software HP 3D Scan na záložce SKENOVÁNÍ.....	29
Obrázek 15 - Software HP 3D Scan na záložce INSTALACE.....	29
Obrázek 16 - Software HP 3D Scan na záložce SLOUČENÍ TVARŮ.....	30
Obrázek 17 - Schéma zapojení hardwaru.....	34
Obrázek 18 - Nastavení základních parametrů softwaru.....	36
Obrázek 19 - Výsledek kalibrace.....	36
Obrázek 20 - Parametry vzoru.....	37
Obrázek 21 - Výběr druhu skenování.....	37
Obrázek 22 - Nastavení skenování a dalších parametrů.....	38
Obrázek 23 - Ovládání kamery a ovládání projektoru.....	39
Obrázek 24 - Kontaktní body na hrací kostce.....	40
Obrázek 25 - Průběh skenování pozadí.....	40
Obrázek 26 - Oskenované pozadí.....	41
Obrázek 27 - Průběh skenování hrací kostky.....	41
Obrázek 28 - Skládání skenů v průběhu skenování hrací kostky.....	42
Obrázek 29 - Výsledek skenování.....	43
Obrázek 30 - Model hrací kostky.....	43
Obrázek 31 - Model hrací kostky.....	44
Obrázek 32 - Rozmístění kontaktních bodů na sošce.....	45
Obrázek 33 - Skenování pozadí.....	45
Obrázek 34 - Hotový scan pozadí.....	46
Obrázek 35 - Průběh skenování.....	47
Obrázek 36 - Průběh skenování v softwaru.....	47
Obrázek 37 - Slučování skenů v průběhu skenování.....	48
Obrázek 38 - Kompletní model sošky před úpravou.....	48
Obrázek 39 - Model sošky zepředu.....	49
Obrázek 40 - Model sošky zezadu.....	49
Obrázek 41 - Volba druhu zarovnání.....	50
Obrázek 42 - Zarovnání volné.....	51
Obrázek 43 - Zarovnání kolem osy.....	51
Obrázek 44 - Zarovnání jemná párová registrace.....	52
Obrázek 45 - Zarovnání jemná globální registrace.....	52

## **11 Seznam tabulek**

Tabulka 1 - parametry skeneru HP Structured Light Scanner Pro S3 .....	21
--	----