

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
**FAKULTA STROJNÍ**

Studijní program: N2301      Strojní inženýrství  
Studijní obor:      2301T007      Průmyslové inženýrství a management

# **DIPLOMOVÁ PRÁCE**

Modelování výroby za pomoci metody 3D Laserscanningu

Autor:      **Bc. Martin STRAPEK**

Vedoucí práce:      **Ing. Petr Hořejší, Ph.D.**

Akademický rok 2015/2016

## **Prohlášení o autorství**

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou/diplomovou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě strojní Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou/diplomovou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské/diplomové práce.

V Plzni dne: .....

.....  
**podpis autora**

## ANOTAČNÍ LIST DIPLOMOVÉ (BAKALÁŘSKÉ) PRÁCE

<b>AUTOR</b>	Příjmení Strapek	Jméno Martin	
<b>STUDIJNÍ OBOR</b>	2301T007 „Průmyslové inženýrství a management“		
<b>VEDOUČÍ PRÁCE</b>	Příjmení (včetně titulu) Ing. Hořejší, Ph.D.	Jméno Petr	
<b>PRACOVÍŠTĚ</b>	ZČU - FST - KPV		
<b>DRUH PRÁCE</b>	DIPLOMOVÁ	<b>BAKALÁŘSKÁ</b>	Nehodící se škrtněte
<b>NÁZEV PRÁCE</b>	Modelování výroby metodou 3D laserového skenování		

<b>FAKULTA</b>	strojní	<b>KATEDRA</b>	KPV	<b>ROK ODEVZD.</b>	2016
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

### POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

<b>CELKEM</b>	109	<b>TEXTOVÁ ČÁST</b>	67	<b>GRAFICKÁ ČÁST</b>	42
---------------	-----	---------------------	----	----------------------	----

<p style="text-align: center;"><b>STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK)</b></p> <p><b>ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY</b></p>	<p>Diplomová práce zkoumá možnosti využití technologie 3D laserového skenování jako podpory průmyslového inženýrství a digitálního podniku. Cílem práce je nalezení způsobu modelování výroby za podpory laserového skenování a porovnání tohoto způsobu s doposud používanými metodami. V práci je uvedena rešerše současného stavu, dále popis procesu skenování a zpracování dat výrobní haly, využití těchto dat při modelování výroby a v závěru hodnocení zkoumaných metod.</p>
---	---

## SUMMARY OF DIPLOMA (BACHELOR) SHEET

<b>AUTHOR</b>	Surname Strapek	Name Martin	
<b>FIELD OF STUDY</b>	2301T007 “Industrial engineering and management“		
<b>SUPERVISOR</b>	Surname (Inclusive of Degrees) Ing. Hořejší, Ph.D.	Name Petr	
<b>INSTITUTION</b>	ZČU - FST - KPV		
<b>TYPE OF WORK</b>	<b>DIPLOMA</b>	<b>BACHELOR</b>	<b>Delete when not applicable</b>
<b>TITLE OF THE WORK</b>	Modeling of manufacture using 3D Laserscanning method		

<b>FACULTY</b>	Mechanical Engineering	<b>DEPARTMENT</b>	Industrial engineering and management	<b>SUBMITTED IN</b>	2016
----------------	------------------------	-------------------	---------------------------------------	---------------------	------

### NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

<b>TOTALLY</b>	109	<b>TEXT PART</b>	67	<b>GRAPHICAL PART</b>	42
----------------	-----	------------------	----	-----------------------	----

<b>BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS</b>	The thesis research possibilities of using 3D laserscanning technology as support of industrial engineering and digital factory. The main goal of the thesis is to find a way of manufacture modelling using laserscanning method and to compare this way with common methods. Searches of the present state, a description of the manufacture scanning process and data processing, use of these data as manufacture modelling support and rating of the new-found methods are listed in the thesis.
<b>KEY WORDS</b>	3d laserscanning, point cloud, visTable, AutoCAD, layout, manufacture modelling



## **Poděkování**

Rád bych poděkoval Ing. Petrovi Hořejšímu, Ph.D. za vedení této diplomové práce a za jeho čas a ochotu, kterou mi v průběhu práce věnoval. Dále bych rád poděkoval Ing. Jiřímu Polcarovi za cenné rady a nápady a také za čas věnovaný při technické podpoře práce. Také bych rád poděkoval Ing. Vladimíru Šrajerovi, Ph.D. za poskytnutí výrobních prostor pro získání dat k diplomové práci.

## Obsah

1. Teorie skenování a analýza současného stavu techniky skenování .....	11
1.1. Princip 3D laserového skenování .....	11
1.2. Druhy skenovacích zařízení .....	14
1.3. Skenovací zařízení .....	17
1.4. Současné využití laserových skenerů.....	20
1.4.1. Strojní průmysl .....	20
1.4.2. Stavebnictví .....	23
1.4.3. Geodézie .....	24
1.4.4. Archeologie .....	25
1.4.5. Forenzní vědy, kriminalistika, pojišťovnictví .....	26
1.4.6. Filmový a herní průmysl .....	27
1.5. Současné technologie na trhu .....	27
1.5.1. Leica Geosystems .....	28
1.5.2. FARO .....	28
1.5.3. Trimble .....	29
1.6. Porovnání cen a výkonů současných zařízení.....	30
2. Techniky skenování.....	32
2.1. Možnosti skenování .....	32
2.2. Zásady při skenování .....	36
3. Shrnutí teoretické části .....	38
4. Praktická část.....	40
4.1. Zadání, výstup.....	40
4.2. Proces metody laserového skenování .....	41
4.3. Proces porovnání metod.....	41

5.	Proces zajištění požadavků.....	43
5.1.	Analýza zadání.....	43
5.2.	Identifikace prostředků .....	44
5.3.	Zajištění prostředků .....	45
5.3.1.	Zajištění objektů skenování.....	45
5.3.2.	Zajištění skenovacího zařízení - Laserová skenovací stanice Leica C5.....	47
5.3.3.	Zajištění software pro úpravu dat – Leica Cyclone, CloudCompare .....	48
5.3.4.	Zajištění software pro tvorbu a analýzu layoutů – visTable, Autodesk Factory Design Suite.....	48
5.3.5.	Zajištění software pro ergonomické analýzy – Tecnomatix JACK.....	49
5.3.6.	Zajištění počítačového vybavení .....	49
5.3.7.	Předběžná analýza místa skenování .....	50
5.3.8.	Stanovení faktorů sledování .....	50
5.3.9.	Stanovení technik skenování .....	51
6.	Proces získávání dat.....	52
6.1.	Analýza prostoru.....	52
6.2.	Nastavení skeneru .....	53
6.3.	Skenování pozice .....	58
6.4.	Skenování ergonomické laboratoře .....	59
6.5.	Vyhodnocení procesu získávání dat .....	63
7.	Proces úpravy dat .....	65
7.1.	Čištění a filtrace dat – Leica Cyclone.....	65
7.2.	Registrace skenů – Leica Cyclone .....	69
8.	Proces testování dat .....	71
8.1.	Metoda 1 .....	71



8.1.1.	Krok 1 - ReCap.....	71
8.1.2.	Krok 2 – AutoCAD .....	76
8.1.3.	Krok 3 - Inventor .....	80
8.1.4.	Krok 4 – další využití bodového mračna a modelů.....	83
8.2.	Metoda 2 .....	85
8.2.1.	Krok 1 – CloudSlicer .....	86
8.2.2.	Krok 2 - visTable.....	86
8.2.3.	Krok 3 – tvorba 3D layoutu.....	89
9.	Hodnocení a porovnání metod.....	91
9.1.	Schéma hodnocených metod .....	91
9.2.	Faktory hodnocení a kritéria hodnocení .....	93
9.3.	Vstupní hodnoty.....	94
9.4.	Stanovení vah kritérií.....	95
9.5.	Hodnocení metod .....	96
9.5.1.	2D blokový layout .....	96
9.5.2.	2D strojový layout .....	98
9.5.3.	3D vizualizace .....	102
9.6.	Ekonomické hodnocení.....	105
9.6.1.	Náklady metod.....	105
9.6.2.	Investice, úspora nákladů a návratnost metod .....	111
9.7.	Výsledky hodnocení efektivity a ekonomického hodnocení .....	113
9.7.1.	2D blokový layout .....	113
9.7.2.	2D strojový layout, 3D vizualizace .....	114
9.8.	Celkové hodnocení metody laserového skenování.....	115

## Seznam obrázků

Obr. 1 Princip triangulačního skenování .....	11
Obr. 2 Princip skenování "Time of flight" .....	12
Obr. 3 Princip otáčení částí skenovací hlavy [17] .....	13
Obr. 4 Bodové mračno [18] .....	14
Obr. 5 Dotykový skener [19] .....	15
Obr. 6 Optický skener [20] .....	15
Obr. 7 Laserový skener [21] .....	16
Obr. 8 Popis skenovací hlavy .....	18
Obr. 9 Stojan skeneru [22] .....	19
Obr. 10 Různé druhy skenovacích terčů [23], [24] .....	20
Obr. 11 Skenovací terč s nástavcem [23] .....	20
Obr. 12 Naskenovaný obraz výrobní linky [25] .....	22
Obr. 13 Skenovaný model automobilu [26] .....	23
Obr. 14 Řez skenovaným modelem domu [27] .....	24
Obr. 15 Skenovaný model terénu [28] .....	25
Obr. 16 Skenovaný model starodávné sochy [29] .....	26
Obr. 17 Skenovaný model havarovaného auta [30] .....	27
Obr. 18 Techniky skenování, sken celého prostoru - vlevo; sken části prostoru - vpravo..	33
Obr. 19 Princip rozmístování terčů a skenovacích pozic .....	35
Obr. 20 SW spojování dvou skenů .....	35
Obr. 21 Proces praktické části .....	40
Obr. 22 Model procesu laserového skenování .....	41
Obr. 23 Proces porovnávání metod .....	42
Obr. 24 Proces zajištění požadavků .....	43

Obr. 25 Část skenované výrobní haly.....	46
Obr. 26 Skenované pracoviště v ergonomické laboratoři.....	47
Obr. 27 Proces získávání dat .....	52
Obr. 28 Sestavená skenovací stanice - hlava, stojan, nástavec.....	53
Obr. 29 Vyrovnávací šrouby hlavy skeneru .....	54
Obr. 30 Kruhová libela .....	54
Obr. 31 a) hlava skeneru ve vyrovnaném stavu, b) změna výšky hlavy při pootočení šroubem c) rozmístění šroubů na hlavě (pohled shora) .....	55
Obr. 32 Digitální libela - nevyrovnaný stav hlavy .....	55
Obr. 33 Digitální libela - vyrovnaný stav hlavy .....	56
Obr. 34 Ovládací obrazovka skeneru - hlavní menu .....	56
Obr. 35 Struktura projektů v paměti skeneru .....	57
Obr. 36 Založení nového projektu.....	57
Obr. 37 Nastavení skenovacích parametrů - skenování celého prostoru.....	58
Obr. 38 Skenovaný prostor ergonomické laboratoře.....	59
Obr. 39 Nastavení parametrů skenování - skenování části prostoru .....	60
Obr. 40 Skenovací pozice ergonomické laboratoře.....	62
Obr. 41 Proces úpravy dat .....	65
Obr. 42 Datová struktura skenovaných projektů .....	66
Obr. 43 Bodové mračno skenované haly.....	66
Obr. 44 Bodové mračno s výskytem rušivého elementu .....	67
Obr. 45 Sken ergonomické pracoviště – neočištěný.....	68
Obr. 46 Sken ergonomického pracoviště - očištěný .....	68
Obr. 47 Cyclone - vizuální registrace .....	69
Obr. 48 Skenovaný model výrobní haly – nízké rozlišení .....	70

Obr. 49 Skenovaný model ergonomického pracoviště – střední rozlišení .....	70
Obr. 50 Bodové mračno dílny .....	72
Obr. 51 ReCap - fotografie dílny .....	72
Obr. 52 Zpracovaný model výrobní haly .....	73
Obr. 53 Stroj vyjmutý ze skenované haly .....	74
Obr. 54 ReCap - bodové mračno pracoviště .....	75
Obr. 55 ReCap - pracovní stůl .....	75
Obr. 56 ReCap - KLT box .....	76
Obr. 57 AutoCAD - horní pohled na bodové mračno haly .....	77
Obr. 58 2D layout bodového mračna v AutoCAD .....	77
Obr. 59 Vkládání jiných bodových mračen do skenu výrobní haly .....	78
Obr. 60 AutoCAD - rozšíření Factory Design - materiálový tok .....	79
Obr. 61 AutoCAD - ověřování layoutů podle bodového mračna .....	80
Obr. 62 Bodové mračno pracoviště - vlevo, Model pracoviště v Inventoru – vpravo .....	81
Obr. 63 Inventor - vkládání nových objektů do bodového mračna .....	81
Obr. 64 Inventor - bodové mračno stroje - vlevo; tvorba 3D modelu podle bodového mračna – vpravo .....	82
Obr. 65 Inventor - výsledný model stroje .....	83
Obr. 66 Inventor - model ergonomického pracoviště .....	84
Obr. 67 CloudCompare – model, který je možné importovat do SW Jack .....	84
Obr. 68 3Ds Max design - prostředí SW a vložený model dílny .....	85
Obr. 69 Exportovaný layout z algoritmu CloudSlicer .....	86
Obr. 70 visTable - blokový layout .....	87
Obr. 71 visTable - manipulace s objekty .....	88
Obr. 72 visTable - tok materiálu .....	89

Obr. 73 visTable - I-D diagram .....	89
Obr. 74 Bodové mračno stroje z výroby - vlevo; Model stroje vytvořený na základě bodového mračna - vpravo .....	90
Obr. 75 Metoda 0 – schéma.....	91
Obr. 76 Metoda 1 – schéma.....	92
Obr. 77 Metoda 2 – schéma.....	93
Obr. 78 2D blokový layout - hodnocení a vážené hodnocení metod .....	96
Obr. 79 Porovnání metod při tvorbě 2D blokového layoutu .....	97
Obr. 80 Časová náročnost tvorby 2D blokového layoutu .....	97
Obr. 81 Hodnocení ostatních faktorů tvorby 2D blokového layoutu .....	98
Obr. 82 2D strojový layout - hodnocení a vážené hodnocení metod .....	98
Obr. 83 2D strojový layout - porovnání metod .....	99
Obr. 84 Časová náročnost tvorby 2D strojového layoutu .....	99
Obr. 85 Hodnocení ostatních faktorů při tvorbě 2D strojového layoutu .....	100
Obr. 86 Výstupní 2D layouty jednotlivých metod .....	101
Obr. 87 3D vizualizace - hodnocení a vážené hodnocení metod .....	102
Obr. 88 3D vizualizace - porovnání metod.....	102
Obr. 89 Časová náročnost tvorby 3D vizualizace .....	103
Obr. 90 Hodnocení ostatních faktorů při tvorbě 3D vizualizace.....	104
Obr. 91 3D vizualizace - porovnání výstupů metod [31] .....	104
Obr. 92 Grafické zobrazení investic, ročních nákladů a úspor ve výchozím stavu.....	112
Obr. 93 Grafické zobrazení investic, ročních nákladů a úspor v současném stavu.....	113

## **Přehled použitých zkratk**

2D – dvojdimenzionální

3D – trojdimenzionální

ACAD – AutoCAD

CAD – Computer Aided Design

CPU – Central Processing Unit

FOW – Field – of – View

GPU – Graphic Processing Unit

HW – Hardware

I-D – Intensity – Distance diagram

PLM – Product Lifecycle Management

RAM – Random Access Memory

RGB – Red Green Blue

SW – Software

TOF – Time of flight

## Úvod

Technologie 3D skenování – před několika lety technologie velice těžko představitelná, dnes se však pomalu stává samozřejmostí. Od prvních prototypů prošla značným vývojem a v současné době je ve světě mnoho firem, jejichž pilířem je právě nabídka pořízení prostorového modelu jakéhokoliv objektu. Využití těchto modelů se liší od zákazníka k zákazníkovi, někdo chce pouze digitální kopii reálného objektu, jiný naopak tento model využívá jako velmi užitečný vstup pro další zpracování. Někteří se s touto metodou mohli setkat v moderních fotografických studiích nebo ve velkých obchodních centrech, kdy vám bylo nabízeno pořízení 3D fotografie, další se s touto technologií mohli setkat i v některých odvětvích medicíny. Tato práce se však zabývá mnohem složitějšími a dražšími verzemi přístrojů, se kterými se může každý setkat v reálném životě. Těmito přístroji jsou laserové skenery.

Tato diplomová práce se zabývá technologií 3D laserového skenování a možnostmi jejího využití v technické praxi průmyslového inženýrství, konkrétně možnostmi jejího využití při modelování výroby. Hlavním cílem práce je nalezení vhodné metody zpracování skenovaných dat a porovnání této metody s doposud používanými technikami.

V teoretické části práce bude nejprve popsán základní princip pořizování dat technologií laserového skenování. Dále budou ukázány základní druhy laserových skenovacích zařízení a popsány jejich části. Poté budou uvedeny zjištěné oblasti a činnosti, ve kterých se technologie skenování využívá. Následně bude proveden průzkum současného stavu techniky, kdy budou vyhledána zařízení dostupná na současném trhu a budou porovnány ceny a výkony jednotlivých zařízení. V závěrečné části teoretické části pak budou uvedeny techniky a metody skenování, kterých bude následně využito v praktické části.

V úvodu praktické části bude provedena analýza problému před samotným skenováním, ve které budou stanoveny a zajištěny potřebné prostředky pro další pokračování práce. Poté bude popsán postup získávání dat přímo ve výrobní hale a ergonomické laboratoři a následný postup zpracování získaných dat. V další části se budeme zabývat již samotným hledáním způsobu tvorby layoutů výroby pomocí naskenovaných dat. Velký důraz při hledání metody bude kladen na to, aby nalezená metoda byla efektivnější než doposud používané techniky. Tato metoda bude následně popsána a porovnána s klasickou metodou. Výstupem práce pak bude zhodnocení metody laserového skenování a doporučení pro její použití.

Autor diplomové práce se zúčastnil školení laserového skenování, je seznámen s principy a s používáním technologie včetně analytických činností a následným zpracováním získaných dat. Dále se autor přímo podílel na praktickém použití laserového skeneru při pořizování modelu haly Regionálního technologického institutu Západočeské univerzity v Plzni a také při skenování kaple na zámku v Horšovském Týně.

## 1. Teorie skenování a analýza současného stavu techniky skenování

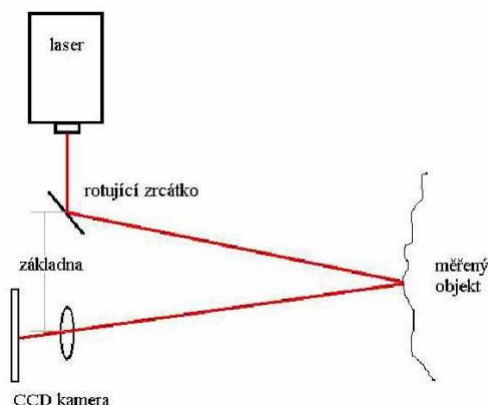
Jak bylo zmíněno v úvodu, cílem této práce je zkoumání využitelnosti metody prostorového laserového skenování při modelování výroby. Klíčovým pojmem této práce je laserové skenování. Tento výraz bude v následujících kapitolách uveden ještě mnohokrát, proto se nejprve budeme věnovat jeho podrobnějšímu rozboru. Tato kapitola vysvětluje obecný princip laserového skenování, dále uvádí rozdělení, parametry a popis laserových zařízení, jejich současné využívání v praxi a také průzkum cen a možností zařízení dostupných na trhu a jejich srovnání.

### 1.1.Princip 3D laserového skenování

Princip laserových skenerů je založen na projekci laserového paprsku na povrch skenovaného objektu. Tento paprsek se následně odráží zpět a je snímán pomocí speciálních kamer, tzv. CCD/CMOS snímačů, kde se například pomocí fázového posunu určí doba odrazu a následně vzdálenost od povrchu objektu. Podle uspořádání snímacího zařízení jednotlivých typů se pro vyhodnocení prostorových souřadnic nasnímaných bodů využívá metody triangulace nebo „time of flight“ (TOF).

[1]

Triangulační skenery mají na jedné straně základny zařízení emitující laserové záření, které vytváří na objektu stopu bodovou, nebo, pomocí vhodného optického prvku tvořícího laserovou rovinu, stopu čárovou. Na druhé straně základny je umístěna CCD kamera, která detekuje stopu laseru na objektu. Souřadnice, respektive vzdálenost, se vypočte řešením trojúhelníka. Přesnost takového systému závisí především na vzdálenosti od základny, kterou většinou není možné měnit, proto se uplatní především na malé vzdálenosti a na malé předměty. Princip je zobrazen schematicky na Obr. 1

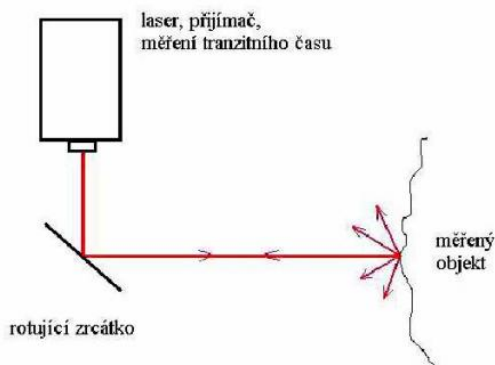


Obr. 1 Princip triangulačního skenování



Laserové skenery měření délek (TOF) vysílají laserový impuls směrem na měřený objekt. Vzdálenost mezi vysílačem a povrchem objektu je spočítána z času, který uběhne mezi vysláním a přijetím signálu. Princip TOF je zobrazen na Obr. 2. Tato metoda je mnohem více vhodná pro skenování středních a větších délek a také objektů.

[2]



Obr. 2 Princip skenování "Time of flight"

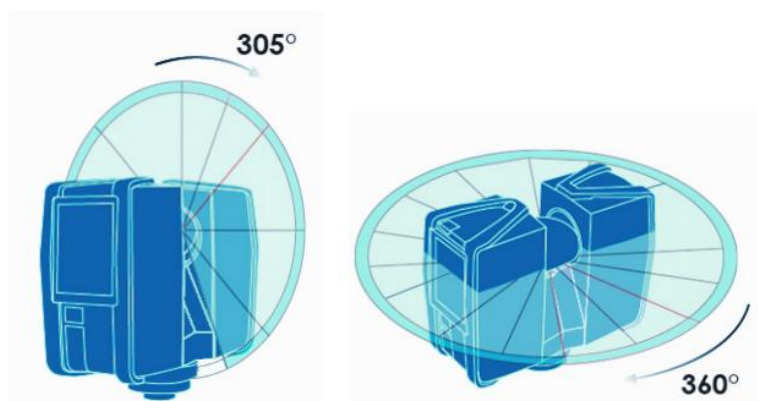
Tímto způsobem se získá informace o geometrii povrchu. Pokud je požadováno také skenování textury povrchu, je nutno přidat další CCD/CMOS snímač, který snímá barvu povrchu, která se ve výsledku propojí se vzniklým 3D tělesem.

[1]

Laserový skener tedy využívá laserového paprsku, který je promítán na skenovaný objekt a následně je vyslán signál zpět do přijímače. Tímto způsobem získá skener údaje o jednom konkrétním bodě. Aby získal údaje o celém skenovaném objektu nebo prostoru, musí naskenovat téměř všechny body objektu nebo prostoru. Toho se docílí třemi technikami:

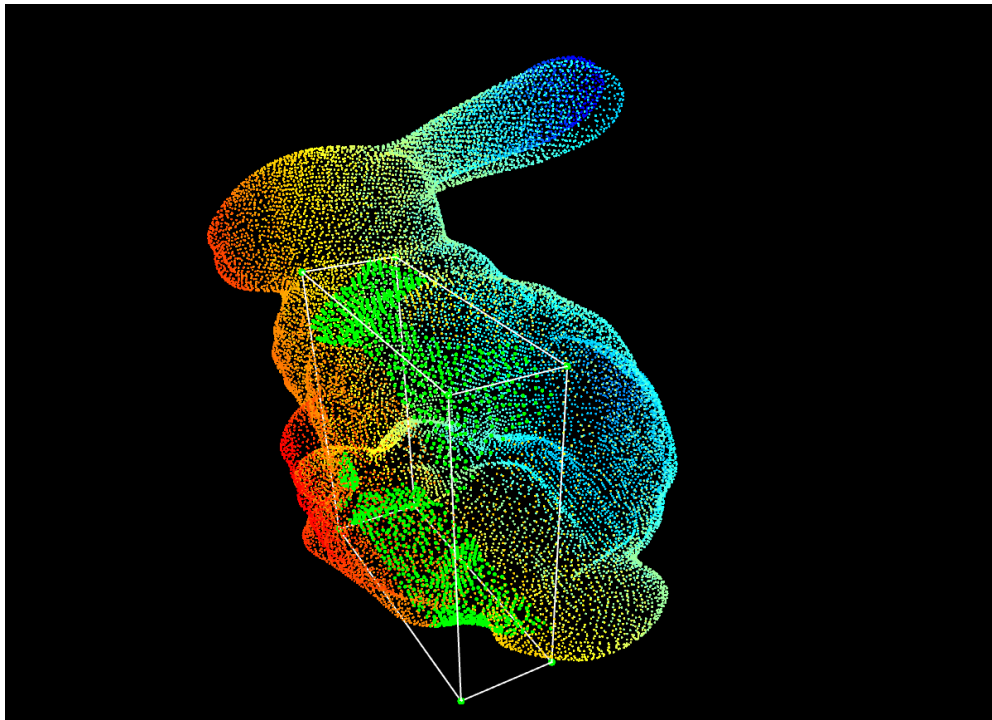
- 1) **Vysílač a přijímač laserového paprsku se otáčejí kolem vodorovné osy.** Tento vysílač je umístěn uprostřed skenovací hlavy (Obr. 8). První paprsek vyše vysílač v poloze 0. Jakmile přijme zpět signál paprsku vyslaného v bodě 0, potočí se vysílač do polohy 1. Pootočení je velice malé, zpravidla mnohem menší než  $1^\circ$ . V poloze 1 opět vyše paprsek, přijme signál a potočí se. Tento proces se opakuje, dokud se vysílač neotočí kolem své osy o  $360^\circ$ . Tím se vytvoří kruh bodů kolem vysílače. Z důvodu konstrukce skenerů není však naskenován plný kruh  $360^\circ$  ale pouze jeho část např.  $305^\circ$ . Nutno podotknout, že doba jednoho otočení vysílače kolem své osy je obecně kratší než 1 sekunda.

- 2) **Hlava skeneru (viz. Obr. 3) se otáčí kolem svislé osy.** Jakmile vysílač umístěný v mezeře hlavy skeneru provede jednu otáčku, celá hlava se pootočí, opět o velmi malý stupeň, kolem svislé osy, která prochází i centrem vysílače. Následuje druhá otáčka vysílače kolem své osy a pootočení hlavy kolem své osy. Princip vidíme na Obr. 3



**Obr. 3 Princip otáčení částí skenovací hlavy [17]**

Jakmile se hlava otočí o  $180^\circ$  (hlava se nemusí otočit kolem dokola, jelikož z vysílače je paprsek vysílán na obě strany) vznikne kolem skeneru v krajním případě koule naskenovaných bodů. Tím vznikne první sken. Jelikož body nejsou navázány jeden na druhý, ale je mezi nimi určitá mezera, nezískáme skenování samotný model, ale velmi hustou síť jeho bodů, kterou nazýváme **bodové mračno**. Ukázka takového mračna je např. na Obr. 4



Obr. 4 Bodové mračno [18]

- 3) **Skenování objektu z více pozic.** Provedením jednoho skenování jednoho objektu nemůže dojít k vytvoření prostorového modelu. Skenovaný objekt je nutné ještě minimálně jednou naskenovat, avšak z jiného pohledu. Každé skenování je prováděno z jiného místa. Toto místo se nazývá **skenovací pozice**. Podle počtu skenování získáme odpovídající počet skenů. Tato data se poté nahrají do specializovaného SW, ve kterém se spojí dohromady. Spojení několika dílčích bodových mračen se nazývá **registrace mračen bodů**. Tímto a ještě dalšími úpravami již získáme mračno bodů v podobě 3D modelu.

## 1.2.Druhy skenovacích zařízení

V předchozí kapitole byly ukázány dva druhy laserových skenerů, které byly rozděleny podle způsobu získávání dat. Kromě laserových skenerů existují ještě další typy, které si pouze představíme. Samotné laserové skenery se pak dále nerozdělují pouze podle použitého principu, ale také podle dalších parametrů.

## 1) Rozdělení skenerů podle principu měření

### a) Dotykové skenery

Tyto skenery vyžadují hmotný dotyk senzoru se skenovaným povrchem objektu. Do této skupiny jsou zařazeny 3D digitizéry od 3D desktop (stolních), až po systémy pro měření objektů několik metrů velkých. Tyto skenery vynikají nízkou cenou oproti bezdotykovým, avšak jejich nevýhodou je omezené snímání menších a složitějších součástí. Ukázka dotykového skeneru je na následujícím obrázku.



Obr. 5 Dotykový skener [19]

### b) Optické 3D skenery

Tyto skenery snímají skenovaný objekt z několika úhlů pomocí optického zařízení. Při snímání je vhodné daný objekt umístit na polohovací zařízení s jednobarevnou kontrastní podložkou či pozadím. Při každém natočení se objekt v podstatě vyfotí a data se uloží. Po získání snímků ze všech úhlů se data zpracují a digitalizovaný model se vytvoří metodou aproximace. Optický skener je na Obr. 6

[1]



Obr. 6 Optický skener [20]

### c) Laserové skenery

Základní dva principy laserových skenerů byly popsány v kapitole 1.1. Jelikož je tato práce zaměřena na modelování pomocí laserového skeneru, budeme se nadále zabývat pouze touto skupinou. Hlava laserového skeneru je na Obr. 7



Obr. 7 Laserový skener [21]

### 2) Dělení laserových skenerů podle dosahu

Dosah skeneru určuje vzdálenost nejvzdálenějšího bodu objektu, který je schopen skener naskenovat při jednom ustavení. Podle dosahu se skenery rozdělují do následujících skupin:

- Systémy s velmi krátkým dosahem (0,1 – až 2,0 m)
- Systémy s krátkým dosahem (2 m – 10 m)
- Systémy se středním dosahem (10 m – 100 m)
- Systémy s dlouhým dosahem (100 m – stovky metrů)

[3]

### 3) Dělení laserových skenerů dle přesnosti

Přesnost u skenerů udává, jak velká je odchylka polohy skutečného, a naměřeného bodu. Zpravidla platí, že čím vyšší je dosah skeneru, tím klesá jeho přesnost. Skenovací systémy jsou rozděleny podle přesnosti v závislosti na dosahu do následujících skupin:

- Systémy s velmi vysokou přesností pro velmi krátké vzdálenosti (0,01 mm – 1mm)
- Systémy s vysokou přesností a krátkým dosahem (0,5 mm – 2 mm)

- Systémy se střední přesností a středním dosahem (2 mm – 6 mm)
- Systémy s nízkou přesností a dlouhým dosahem (10 mm – 100 mm)

[3]

#### 4) Dělení skenerů dle rychlosti skenování

Rychlost skenování udává, kolik bodů je schopen skener naměřit v rozsahu jedné sekundy

- Systémy s velmi vysokou rychlostí skenování (více jak 50 000 bodů/s)
- Systémy s vysokou rychlostí (1 000 – 50 000 bodů/s)
- Systémy se střední rychlostí (10 – 1000 bodů/s)
- Systémy s nízkou rychlostí (do 10 bodů/s)

[3]

Toto rozdělení je nutné v současné době rozšířit o tzv. **Systémy s ultra rychlým skenováním**, jejichž rychlost se pohybuje kolem 1 000 000 bodů/s.

#### 5) Další dělení skenerů

Dalšími možnými parametry pro rozdělení skenerů je například umístění skeneru. Pokud je skener pevně umístěn na zemi, jedná se o **statický skener**, pokud je skener umístěn na pohyblivém zařízení (auto, letadlo, atd.), jedná se o **kinematický skener**. Dále můžeme rozdělovat skenery podle zorného pole na **kamerové** s malým polem, ve kterém je rozkmitáván paprsek, nebo **panoramatické**, jejichž zorné pole pokryje téměř celé okolí.

[3]

### 1.3.Skenovací zařízení

Jednotlivá laserová skenovací zařízení se mohou v detailech lišit, ale základní technické prvky pro fungování systému mají všechny společné nebo velice podobné. Základními částmi laserových systémů jsou:

#### a) Skenovací hlava

Hlavní částí skenovací stanice je laserová skenovací hlava. Ve skenovací hlavě jsou umístěny všechny důležité komponenty potřebné ke skenování. První komponentou je laserový vysílač. Tento vysílač zajišťuje hned tři funkce. První je pochopitelně vysílání laserového paprsku na skenovaný povrch, druhou je přijímání zpětného signálu a třetí je fotografování, které nám zajišťuje pořízení bodového mračka s texturou.

Laserový paprsek z tohoto modelu je paprsek třídy 3R, který se podle mezinárodního rozdělení řadí do skupiny laserů, které nejsou zdraví nebezpečné. Pokud laser zasáhne lidské oko, nedojde k žádnému poškození, přesto však není doporučeno přímé dlouhé hledění do laserového paprsku.

Jak bylo vysvětleno v 1.1, vysílač se otáčí vysokou rychlostí kolem vodorovné osy. Vysílač je poháněn krokovým motorem. Střed tohoto vysílače tvoří výchozí nulový bod celé stanice.

Skenovací hlava je vybavena dotykovým ovládacím displejem. Tento displej slouží po veškerou komunikaci a ovládání skeneru. Pro ovládání systému se ve skeneru používá operační systém Windows XP. Podrobné možnosti ovládací obrazovky budou popsány v pozdější části.

Další součástí hlavy je i kruhová libela. Při každém postavení skeneru na jinou pozici je nutné vyrovnat jej do vodorovné polohy. Toho se docílí pomocí tří šroubů, kterými se ručně nastaví podle libely přibližná vodorovná poloha. Přesné vyrovnání se pak provádí pomocí elektronické libely na displeji.

Skenovací stanice je poháněna dobíjecími lithiovými bateriemi. V hlavě jsou umístěny dvě komory pro baterie, přičemž skener je poháněn pouze jednou baterií. Při vybití jedné baterie automaticky přepne na druhou, tudíž je možné prázdnou baterii za chodu vyndat a dobít a nepřerušit přitom chod stroje. Dalším vybavením hlavy skeneru je i Wi-Fi anténa, USB konektor a přenosný držák. Všechny části hlavy jsou na Obr. 8



**Obr. 8 Popis skenovací hlavy**

## b) Stojan

Stojan patří k příslušenství skenovací stanice. Skenování je možné provést i pouze s hlavou, téměř ve všech případech se však hlava umísťuje na stojan, který je na Obr. 9. Stojan má tři nohy, každá z nich je samostatně výškově nastavitelná. Konce nohou jsou špičky, díky kterým je možné pevné postavení stojanu v terénu. Pokud máme rovný a pevný povrch, nohy se nepostaví přímo na zem, ale do spojených tří latěk s otvory pro špičky. V horní části stojanu je plocha shodná se spodní plochou skenovací hlavy, na kterou se skenovací hlava umístí. Pevné spojení je pak pomocí stavěcího šroubu ve stojanu.

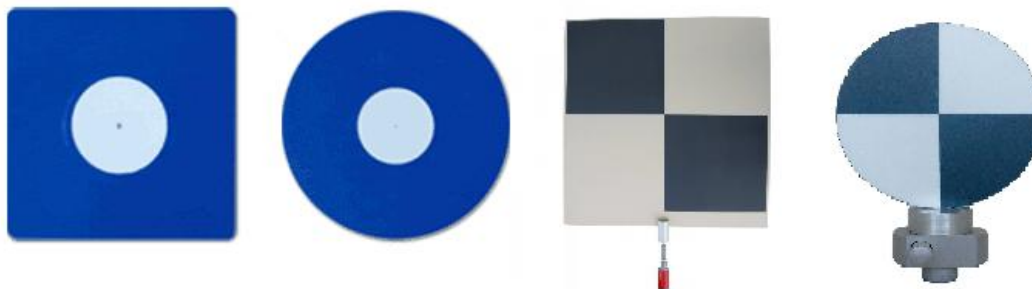


Obr. 9 Stojan skeneru [22]

## c) Terče

Dalším příslušenstvím jsou skenovací terče nebo-li targety. Terče jsou buďto kruhové nebo čtvercové. Oba druhy terčů jsou vyplněny modrou plochou s bílým kruhovým středem nebo černobíle. Čtvercové terče mají stranu dlouhou 3“, kruhové terče mají průměr 6“. Vyrábí se ve dvou provedeních a to buď jako magnetky, které je možné přichytit na rovné povrchy, nebo ve speciálních otočných stojanech, díky kterým je možné nastavit terče do požadované polohy. V těchto stojanech jsou terče umístěny tak, že je možné otáčet s nimi jak kolem vodorovné tak i svislé osy. Všechny druhy terčů jsou na Obr. 10, terč se stojanem pak na Obr. 11.





Obr. 10 Různé druhy skenovacích terčů [23], [24]



Obr. 11 Skenovací terč s nástavcem [23]

## 1.4. Současné využití laserových skenerů

Technologie 3D skenování je v současné době využívána v mnoha odvětvích, kde se prostorový model reality ukázal jako velice užitečný nástroj. Zde budou ukázány příklady, jak lze skenování využít v jednotlivých oblastech.

### 1.4.1. Strojní průmysl

3D skenování se ukázalo jako velice přesná, rychlá a bezpečná bezkontaktní metoda zaměření skutečného stavu složitých technologických celků, jako jsou průmyslové haly, výrobní linky a zařízení, komplikované potrubní systémy a další komplexní celky.

Reálným příkladem využití technologie 3D skenování ve výrobním průmyslu, konkrétně v automotive, je firma Volvo. Poprvé Volvo přišlo do kontaktu s laserovým skenováním mezi léty 1996 – 97. V této době se zaměřili na skenování jednotlivých buněk s roboty a porovnávali naskenované obrazy s výkresy layoutů s cílem verifikovat layouty. V roce 2009 si uvědomili, že technologie vyžrála a rozvinula se, zejména v oblasti softwarové

podpory. Tyto softwary dokázaly zpracovat obrovské množství bodových mračen. Díky tomu přišlo Volvo na to, že si mohou vytvořit 3D barevný model celé jejich továrny.

V roce 2013 bylo Volvo jednou ze světových předních společností laserového skenování v automobilovém průmyslu. Společnosti jako Toyota, Mercedes a Ford zkoušeli implementovat skenování v jejich výrobcích, avšak všichni se potýkali s problémy a museli se obrátit na pomoc právě k Volvu.

Ford začal využívat skenování z důvodu šetření peněz ve formě cestovních nákladů a dostupnosti jejich inženýrů. Jelikož mohou analyzovat výrobní závod dálkově, nemusí jejich inženýři utrácet drahocenný čas a peníze při cestování.

Volvo se také neustále potýká s velkým množstvím nových probíhajících projektů. Ve svém podnikání mají krátkou Time-to-market (dobu uvedení výrobku na trh) a pracují na několika nových modelech současně, které jsou vyráběny na stejných montážních linkách. Testování nových modelů probíhalo obvykle s lepenkovými profily modelů, které byly přesouvány přes montážní linku v neděli, kdy byla výroba zastavena. Téměř každý nový model, který měl být zkompleťován, na montážní lince havaroval takovým způsobem, že musel být sešrotován a co horšího, musela se kompletně zastavit výroba, jelikož všechny modely se vyráběly na stejné montážní lince.

Nakonec se přesvědčili, že technologie laserového skenování by mohla přinést profit díky tvoření modelů továrny s velmi vysokou přesností. Viděli ve skenování vizualizační nástroj pro vizualizaci a verifikaci produktů a procesů digitálně. Dnes jsou uživatelé skeneru převážně plánovací a simulační inženýři. Kolem 50ti zaměstnanců denně využívá data ze skenování. Nicméně odhadují, že se toto číslo zvedne na 300 zaměstnanců, kteří by měli z práce s výsledky skenování prospěch, a vizí je, že k těmto datům bude mít přístup každý a většina zaměstnanců bude s těmito daty pracovat do roku 2017.

Celkově Volvo zhodnotilo hlavní **výhody a nevýhody** laserového skenování takto:

Přínosy 3D laserového skenování jsou **prostorový model reality, skvělý vizualizační nástroj pro komunikaci, ověřování layoutů, simulace a validace nových produktů, snížený cestovních nákladů – zvýšení dostupnosti inženýrů.**

Naproti tomu skenováním se získávají **obrovská množství dat**, čímž se zvyšují nároky na úložiště, a také **špatná struktura souborů**, kdy doposud nejsou dostupná žádná PLM řešení.

[5]

Jak vypadá naskenovaná výrobní hala je vidět na Obr. 12. Skenováním získáme velice přesný obraz reality se všemi obsaženými prvky. Abychom získali tento stupeň reálnosti

pomocí klasických metod modelování layoutů, museli bychom provést řadu měření a modelování složitých prvků.



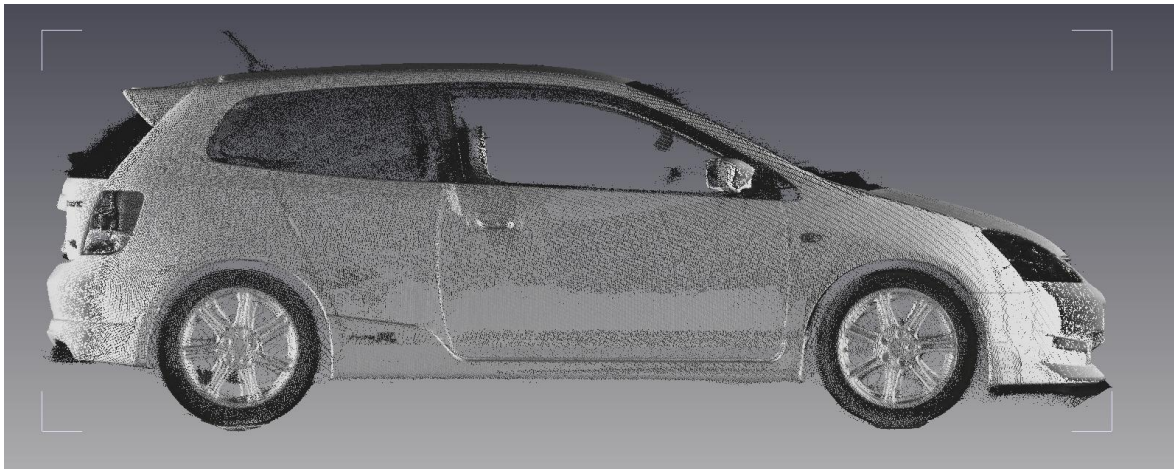
Obr. 12 Naskenovaný obraz výrobní linky [25]

Velké využití pořizování modelu výrobní haly je především změřením stávajícího stavu komplikovaných potrubních systémů, kde je měření téměř nemožné běžnými metodami.

Další využití v průmyslu je skenování výrobků. Pro malé nebo středně velké výrobky můžeme použít ručních optických nebo laserových skenerů, avšak ke skenování velkých výrobků (např. letadlo, lokomotiva,...) lze využít i laserových skenerů pro skenování velkých prostor. Těchto modelů se pak využívá zejména ve dvou oblastech: **Reverzní inženýrství a kontrola kvality.**

Reverzní inženýrství, z anglického Reverse Engineering, je označení pro proces, jehož cílem je odkrýt princip fungování zkoumaného předmětu (např. mechanického zařízení nebo počítačového programu), většinou za účelem sestrojení ekvivalentního předmětu, který ale není kopií originálu (zejména neporušuje autorské právo). Mezi obvyklé postupy reverzního inženýrství patří měření a analýza struktury předlohy (dekompozice) a zkoumání „vnitřních vztahů“ částí systému. Výstupem reverzního inženýrství je obnovení návrhu (či jen dokumentace), které může být podkladem k vylepšení designu nebo např. k bezpečnostnímu auditu.

Na Obr. 13 je zobrazeno mračno bodů modelu automobilu. Tento model mohou využít jak designéři a konstruktéři při navrhování např. nového faceliftu nebo modelu. Tento nový model poté může být použit pro simulace běhu linkou, jako bylo použito u firmy Volvo.

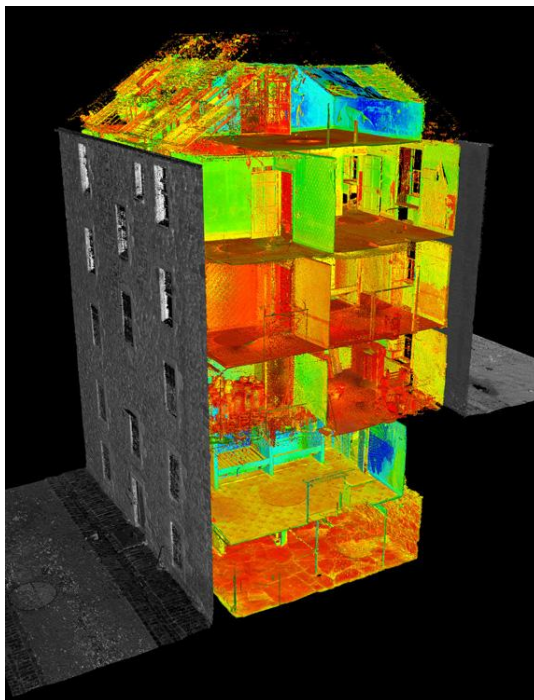


Obr. 13 Skenovaný model automobilu [26]

[6]

#### 1.4.2. Stavebnictví

Podrobné, spolehlivé údaje jsou zvláště nutné při mapování a navrhování budov. V dnešní době jsou pro stavební inženýry 2D podklady nedostačující. Laserové skenování objektů nejen že je velice přesné, ale je navíc několikrát rychlejší metodou pořízení modelu, než je klasickými metodami. Při pořízení **skenu celé budovy** je možné úpravami v různých softwarech získat **2D výkresy jednotlivých pater nebo bokorysů budov**. Sken budovy je na Obr. 14. Zde bylo provedeno skenování jak exteriéru, tak interiéru budovy. Využití prostorového modelu může být užitečné při plánovaných úpravách stávajícího objektu, ať už se jedná o interiér nebo exteriér budovy. Objektem nemusí být pouze jedna budova, ale například i její okolí, přičemž se mohou sledovat dopady jednotlivých plánovaných změn na toto okolí. Objektem jsou rovněž mosty, dopravní komunikace, železnice apod.



Obr. 14 Řez skenovaným modelem domu [27]

Dalším důležitým odvětvím ve stavebnictví, ve kterém se využívá laserového skenování, jsou **podzemní prostory** (kanalizace, tunely,...). V průběhu inženýrské praxe se inženýři několikrát setkali s potřebou velmi podrobného zaměření stávající podzemní inženýrské stavby ať už pro potřeby její opravy, úpravy, nebo navázání nových konstrukcí. Výstupy z takovýchto měření jsou 2D výkresy stavební konstrukce, jako jsou půdorysy, podélné řezy, příčné profily, dále modely ve 3D, které slouží jak k názornější představě o zaměřovaném objektu, tak k náročnějším úlohám umožňující např. CAD modelování (výpočty objemů, povrchů, grafické řešení složitých detailů apod.). Na těchto modelech je pak možné pracovat a porovnávat stav projektovaný a stav skutečný. Další výhodou je možnost vytváření 2D řezů v jakémkoliv místě objektu.

[7]

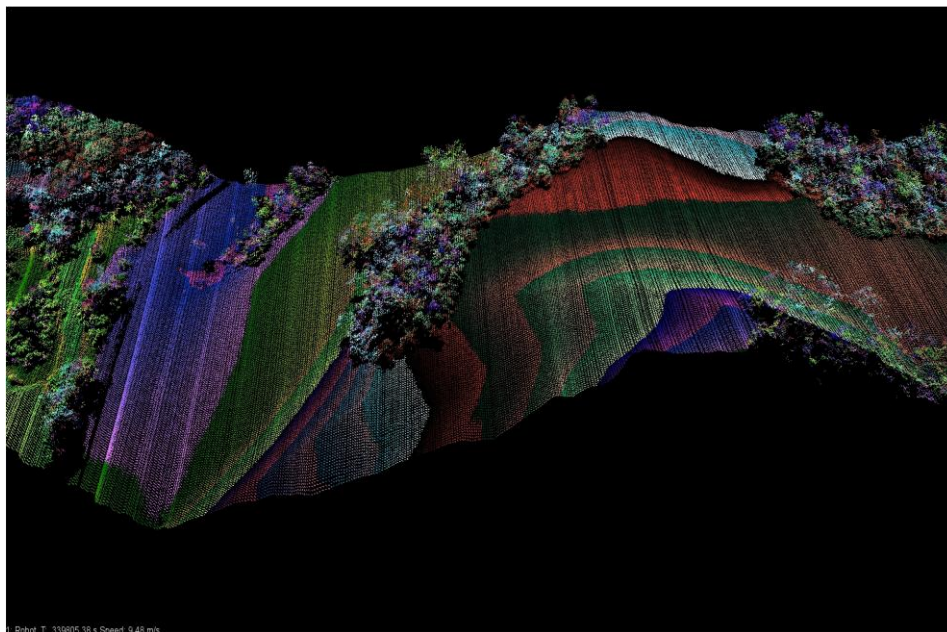
### 1.4.3. Geodézie

Rovněž v moderní geodézii (zeměměřičství) se laserové skenery staly nepostradatelnou technologií. Dříve, ale stále i dnes, se při mapování terénu používaly tzv. totální stanice (TST). Tyto stanice jsou vybaveny elektronickým měřičem vzdáleností, který slouží k určení vzdálenosti mezi stanicí a měřeným bodem, který je obvykle označen speciální tyčkou přidržívanou asistentem. Tato metoda je známa jako elektronická tachymetrie (geodetická metoda zjišťování polohy i výšky bodu). S dalším vývojem laserových technologií použitelných v terénu se tak spojily technologie laseru a skenu. Nyní je 3D laserových skenerů široce používáno v tachymetrii, kde jako největší výhoda je opět 3D



digitální model terénu, díky kterému se rapidně snižuje čas práce. Těchto modelů je využíváno nejen jako podkladů pro mapování terénu, ale např. také pro zkoumání sesuvů půdy a jiných zeměměřičských prací. Na Obr. 15 je bodové mračno terénu. Terén se velice často skenuje umístěním skeneru na letadlo a samotné skenování je prováděno ze vzduchu. I když lze využít dlouhý dosah skeneru, se zvětšujícím se dosahem klesá přesnost.

[8]

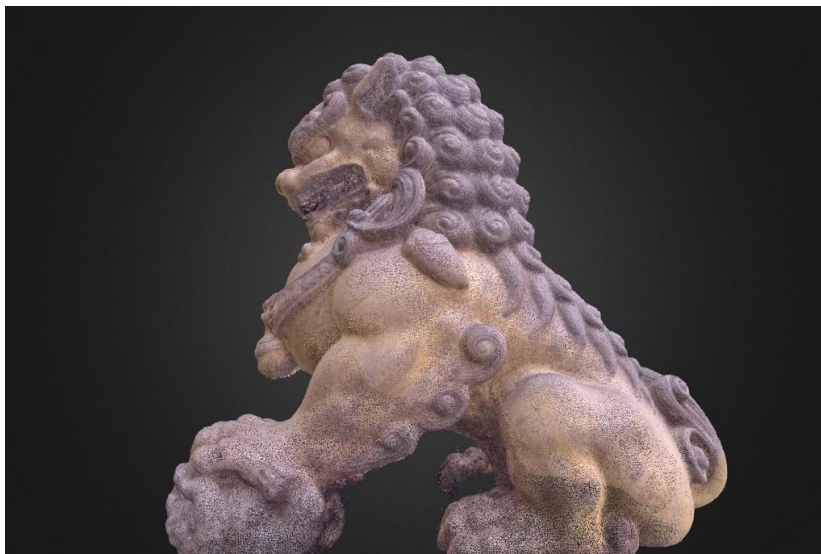


Obr. 15 Skenovaný model terénu [28]

#### 1.4.4. Archeologie

Protože modely pořízené laserovým skenováním jsou velice přesné, rychle pořízené a především je tato metoda **zcela nedestruktivní**, staly se skenery silným pomocníkem i archeologům. Modely mohou být použity jako podklady pro **restaurátorství**. Obnova interiérů i celých budov představuje velmi náročný proces reprodukce chybějících částí. Pomocí 3D skenerů lze získat přesné 3D kopie prvků sochařství, architektury, štukové výzdoby a fragmentů starožitného nábytku a umožňují tak restaurátorům soustředit se na výrobu prvků potřebných k obnově původního vzhledu díla.

Dalším využitím může být **archeologická archivace**. Lze vytvářet věrné 3D kopie předmětů nalezených během archeologické a paleontologické činnosti, jako jsou úlomky keramiky či kostí, celé kostry, starodávné reliéfy nebo artefakty. Z vytvořených 3D modelů pak lze tvořit databáze zpřístupněné výzkumným pracovníkům a usnadnit tak práci při poznávání historie. Obr. 16 ukazuje bodové mračno starodávné sochy. Je vidět, že je použito velmi vysokého rozlišení a přesnosti. U archeologických modelů je použití nejvyšší kvality samozřejmostí, zejména kvůli zachycení co nejvíce detailů.



Obr. 16 Skenovaný model starodávné sochy [29]

Skvělé uplatnění mohou získané modely najít i v tzv. **virtuálních muzeích**. 3D kopie soch, reliéfů, malby interiérů a obrazů zachycené 3D skenery propůjčují mimořádnou autentičnost virtuálních výstav. Každé muzeum na světě může nyní zpřístupnit svou sbírku milionům lidí, přes obrazovku počítače. Mohou dokonce ukázat veřejnosti i ty exponáty, které kvůli nedostatku výstavních prostor či vysoké hodnotě vzácného díla nemohou vystavit.

[9]

#### 1.4.5. Forenzní vědy, kriminalistika, pojišťovnictví

V kriminalistice existuje řada způsobů a technologií specializovaných na zajišťování důkazních materiálů a stejně tak existuje řada způsobů a technologií pro následnou organizaci a archivování pořízených důkazů. Avšak existuje jen velmi málo technologií, které jsou schopny poskytnout nástroje ke sběru, analýze a následné archivaci dohromady tzv. „v jednom balení“. Toto je také hlavním důvodem proč technologie prostorového laserového snímání postupně zaujímá při práci kriminalistů stále významnější pozici zejména při rekonstrukcích a odhalování násilných trestných činů, dopravních nehod apod.



Obr. 17 Skenovaný model havarovaného auta [30]

Konkrétně lze prostorové snímání místa činu využít například pro vyhodnocení trajektorie kulek, dokumentační metody otisků stop, modely koster nebo prostorový model dopravní nehody, který je na Obr. 17. Pořízením takového modelu je možné provádět podrobnější analýzy a přesněji tak rekonstruovat nehodu.

[10]

#### 1.4.6. Filmový a herní průmysl

Počítačová grafika pro zábavní průmysl je často využívána při tvorbě speciálních efektů. Model herce nebo složitého objektu může velmi napomoci při tvorbě grafiky filmu nebo hry, snižuje náklady na čas a náročnou práci grafiků a počítačových specialistů. Při modelování je možné použít bodové mračno jako **základ pro tvorbu polygonálních sítí**, ze kterých se následně tvoří detailní objekt.

Použití 3D modelů dodává speciálním efektům autentičnost a posouvá moderní kinematografii neustále kupředu. Modely mohou být použity pouze pro danou scénu, nebo mohou ulehčit do budoucna práci pro 3D návrháře, modeláře nebo grafiky.

[9]

V ostatních odvětvích se technologie laserových skenerů zatím neuplatnila, nebo je pro dané odvětví vhodnější jiná technologie skenování, buďto optická nebo dotyková.

### 1.5. Současné technologie na trhu

V této kapitole budou představeni zástupci nejznámějších společností, které vyrábí skenovací technologie a portfolia jejich produktů.



### 1.5.1. Leica Geosystems

Leica Geosystems je švýcarská firma, jejíž úplné kořeny sahají až do roku 1819. Od roku 1921 se začala věnovat výrobě a vývoji zeměměřičských přístrojů a pokračuje s tím dodnes. Své zařízení také otestovali, když se jako první společnost na světě rozhodli naskenovat ledový vrchol nejvyšší hory Evropy Mont Blanc. Mezi jejich produkty patří nejrůznější formy GPS a laserových měřicích systému, mezi nimi samozřejmě i laserové skenery. V současnosti nabízí 4 druhy laserových skenerů:

- a) **Leica ScanStation C5** – tuto verzi skeneru doporučují pro všechny začátečnické společnosti, které se rozhodli vstoupit do technologie laserového skenování. Základními parametry systému C5 jsou:
- Dosah – 35 metrů
  - Rychlost skenování – 25 000 bodů/s
  - Přesnost – 2mm

Dle kapitoly se tento systém řadí mezi systémy se středním dosahem, vysokou rychlostí skenování a vysokou přesností.

- b) **Leica ScanStation C10** – tento systém je vylepšenou verzí systému C5 a je určen pro náročnější uživatele. Parametry systému C10:
- Dosah – 300 metrů
  - Rychlost skenování – 50 000 bodů/s
  - Přesnost – 2mm

Jedná se tedy o systém s velmi vysokým dosahem, velmi vysokou rychlostí skenování a vysokou přesností.

- c) **Leica ScanStation P16** – tento systém se středním dosahem patří mezi nejrychlejší skenovací systémy, jelikož rychlost skenování dosahuje až 1 000 000 bodů/s, což je ve srovnání s předchozími dvěma systémy rychlost až 20x vyšší.
- d) **Leica ScanStation P40, P30, P20** – nejnovější modely, které navazují na P16. Opět se jedná o ultra rychlé systémy s rychlostí 1 000 000 bodů/s. [11]

### 1.5.2. FARO

Kanadská firma FARO Technologies se primárně zabývá technologiemi prostorového měření. Vytváří a prodává technologie se zaměřením na kontrolu produktů a sestav, plánování výroby, dokumentování velkého objemu prostorových dat nebo také

dokumentaci a rekonstrukci kriminálních činů a dopravních nehod. Jejich portfolio produktů se může rozřadit do tří oblastí: dotykové skenery pro měření, laserové skenery a SW podporující tyto technologie.

- a) **Focus<sup>3D</sup> X 130** – Prvním systémem společnosti FARO je model X130. Tento systém se řadí mezi ultra rychlé systémy s vysokým dosahem a vysokou přesností. Parametry systému X 130:
  - Dosah – 130 metrů
  - Rychlost skenování – 976 000 bodů/s
  - Přesnost – 2 mm
- b) **Focus<sup>3D</sup> X 330** – vylepšená verze systému X 130. Verze 330 má stejné parametry jako verze 130, avšak dosah tohoto systému je 330 metrů, jedná se tedy o ultra rychlý systém s velmi vysokým dosahem.
- c) **Focus<sup>3D</sup> X30** – nejnovější systém vyvinutý společností FARO. Jedná se o ultra rychlý systém s dosahem 30 metrů. Systém je velice vhodný pro vnitřní prostory, jelikož je stejně rychlý jako předchozí modely ovšem oproti těmto modelům je levnější kvůli sníženému dosahu na 30 metrů, který je pro skenování vnitřních prostor více než dostačující.

[12]

### 1.5.3. Trimble

Trimble je americká společnost s původem v San Francisku. Firma je primárně zaměřena na produkci GPS systémů a softwarů. Nicméně má velice široké portfolio produktů využívaných v zeměměřičství a v tomto portfoliu zahrnují i svůj laserový skener **Trimble TX8**. Parametry jsou podobné jako u ostatních ultra rychlých skenerů:

- Dosah – 120 metrů
- Rychlost skenování – 1 000 000 bodů/s
- Přesnost – 2mm

[13]

Je zřejmé, že v současnosti jsou u všech společností nabízejících služby nebo technologie laserového skenování primárně využívány ultra rychlé skenery s rychlostí skenování kolem 1 000 000 bodů/s. Parametrem pro výběr ultra rychlého skeneru je především dosah. Záleží tedy, zda zákazníkovi postačí vzdálenost kolem 100 metrů nebo potřebuje systémy s velmi

vysokým dosahem až 300 metrů. Samozřejmě ne každý zákazník vyžaduje ultra rychlé skenery, proto jsou k dostání i pomalejší systémy.

### 1.6. Porovnání cen a výkonů současných zařízení

Dle průzkumu trhu byly zjištěny ceny uvedené v následujících tabulkách. Tabulka 1 udává přehled o cenách jednotlivých částí stanice, Tabulka 2 obsahuje ceny skenovacích hlav v různých internetových obchodech. Ceny byly získány z dostupných internetových obchodů a aukčních stránek, jelikož oficiální distributoři neuvádějí ceny svých zařízení. Lze však předpokládat, že poměry cen mezi produkty od oficiálních distributorů a ostatních distributorů jsou zachovány.

Produkt	Cena bez DPH
Skenovací hlava Faro X130	783 000
Software pro zpracování dat	273 000
Stojan	11 000
Terče	12 000
Adaptér	16 000
Baterie	35 000
Cena celkem	1 130 000

*Ceny jsou převedené a zaokrouhlené z původní měny*

**Tabulka 1- Ceny jednotlivých částí skenovacího systému FARO**

<b>Skenovací hlava</b>	<b>Cena bez DPH</b>	<b>Zdroj</b>
<b>FARO X130</b>	783 720	1st Horizont 3D scanner store
<b>FARO X330<sup>1</sup></b>	1 291 500	Pentaland
<b>FARO X30</b>	612 150	Opti-cal
<b>Leica P20<sup>2</sup></b>	2 400 000	Leica Used Equipment
<b>Leica C10</b>	1 200 000	Geoshop.sk
<b>Trimble TX8</b>	862 500	Pentaland

*1 – včetně SW a licence; 2 – použitý produkt; ostatní ceny zahrnují skenovací hlavu bez stojanu, terčů, SW*

**Tabulka 2 - Přehled cen skenovacích hlav**

## 2. Techniky skenování

V předchozí kapitole byl vysvětlen základní princip laserového skenování a bylo popsáno skenovací zařízení včetně funkcí. Tato kapitola popisuje, jakými způsoby lze získávat skenovaná data, vysvětluje základní principy samotných procesů skenování a uvádí zásady, které je nutné dodržovat.

### 2.1. Možnosti skenování

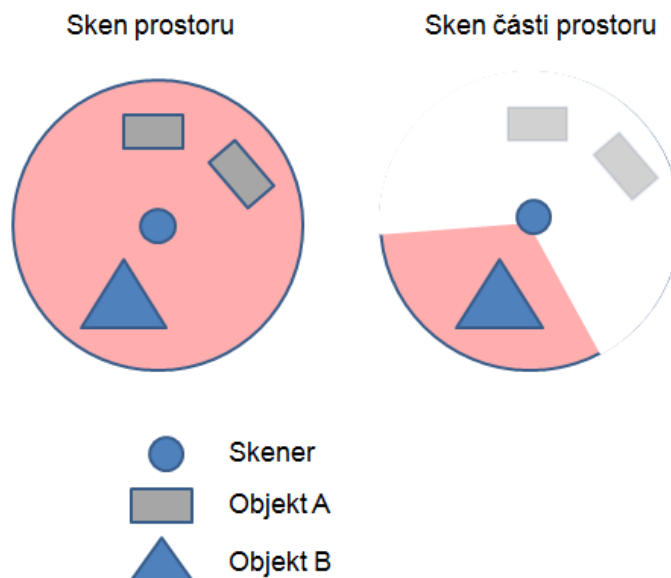
Důležitou částí teorie skenování jsou i možnosti, jakými můžeme objekty skenovat a jejich výběr. K pořízení samotného skenu lze přistupovat několika způsoby. Jaký způsob zvolíme, záleží na tom, co skenujeme a jak jsme schopni naskenovaná data dále zpracovávat.

#### a) Skenování celého prostoru

Jak bylo zmíněno dříve, skener dokáže naskenovat všechny body uvnitř imaginární koule mračna bodů, tedy všechny body v prostoru  $360^\circ$  kolem svislé osy a  $270^\circ$  kolem vodorovné osy. Tento způsob se používá nejčastěji, jelikož využíváme schopností skenerů nasnímat velké prostory. Způsob vidíme zobrazen na Obr. 18 vlevo, kde červený prostor kolem skeneru vyznačuje, co vše bude naskenováno.

#### b) Skenování části prostoru

Ne vždy však potřebujeme skenovat celý prostor kolem skeneru. Vezměme si příklad, že potřebujeme pořídit model velkého letadla. Aby byl model letadla použitelný, musíme ho naskenovat z více pohledů (ze stran, shora, zdola). Pokud bychom tento model chtěli získat z mračna bodů prostoru, museli bychom skenovat celý prostor z několika pohledů, což by bylo časově velmi náročné a z tohoto modelu pak letadlo „vyříznout“. U skenerů je tudíž možnost skenování vybraného prostoru. Při nastavení skeneru se místo klasického nastavení skenování všeho nastaví pouze prostor, který chceme. Například to může být pouze prostor od  $0^\circ$  do  $120^\circ$  kolem svislé osy a od  $-10^\circ$  do  $45^\circ$  kolem vodorovné osy. Tímto zachytíme obraz letadla z jednoho pohledu za mnohem kratší dobu a můžeme si tak dovolit použít například vyšší kvality skenu. Situaci vidíme na Obr. 18 vpravo, kdy bude naskenován pouze objekt B.



Obr. 18 Techniky skenování, sken celého prostoru - vlevo; sken části prostoru - vpravo

### c) Skenování pomocí terčů

Jako součást příslušenství skenerů byly uvedeny terče. Klíčovou úlohou těchto terčů je vytvoření pevných pozic v prostoru. Před pořízením prvního skenu se ve skenovaném prostoru rozmístí tyto terče na vhodné pozice. Pro rozmístění terčů platí zásadní pravidla:

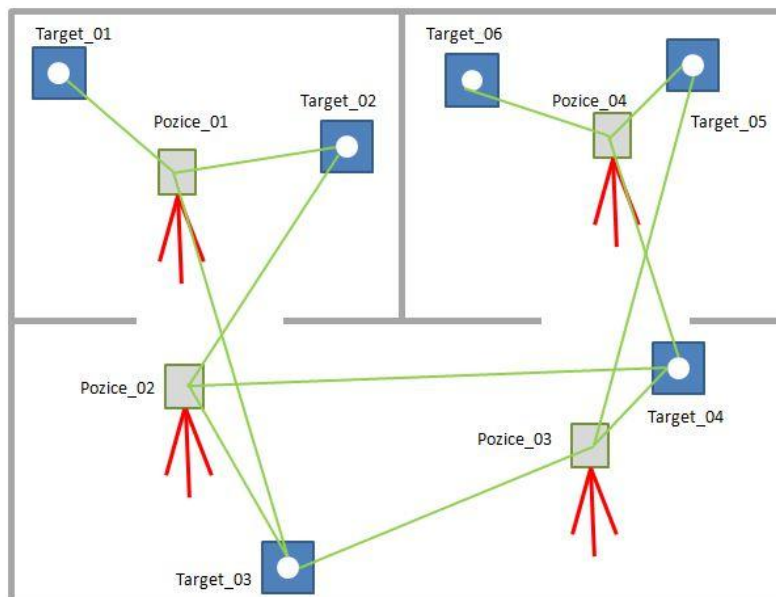
- V každé skenovací pozici by měly **být minimálně tři terče**
- Terče musí být rozmístěny tak, aby z **výchozí skenovací pozice byly všechny vidět** a snahou je i **rozmístit je po co největším prostoru** (ne tedy vedle sebe)
- Rovněž je důležité nastavit plochu terčů tak, aby **normála vycházející z jejich středů vedla přibližně do nulového bodu skenovací pozice** (tedy do středu otáčení laserového vysílače)
- Při rozmisťování terčů je nutné myslet na to, že po pořízení skenu první pozice se skener přesune na druhou pozici, ve které se opět terče rozmístí. Aby se skener dokázal zorientovat v jaké poloze je vůči ostatním skenovacím pozicím, **musí se alespoň jeden terč (ideálně dva) z předchozí pozice zanechat na původní poloze a musí na ně být z nové pozice vidět**

Před nebo po skenování pozice se provede i skenování samotných terčů. Skener se ručně a pomocí obrazovky nastaví tak, aby laserový paprsek směřoval co nejpřesněji do středu terče. Jelikož mají terče a jejich tvary své specifické rozměry, dokáže skener velmi přesně

naskenovat polohu terče. **Polohou terče je jeden jediný bod v jeho středu**, o kterém skener dokáže zjistit jeho prostorové souřadnice. Polohy jednotlivých terčů se pak uloží do skeneru pod jednoznačně identifikovanými názvy. Pokud při skenování dalších pozic budeme skenovat polohu terče, kterou jsme již uložili v předchozím skenování, přiřadíme této nové poloze identifikaci původní pozice. Skener poté ví, v jaké poloze je vůči původní skenovací pozici. Důležité je při skenování nové polohy opět natočit terče směrem ke skeneru. Kvůli tomu jsou velice vhodné terče s nastavitelným držákem, kdy, pokud nedojde k vychýlení původní pozice držáku, lze natočit terč jakýmkoliv směrem, avšak poloha jeho středu se nezmění.

Situaci přibližuje schéma na Obr. 19. Představme si skenování tří místností. Při umístění skeneru do první pozice Pozice\_01 musíme rozmístit alespoň tři terče. Už při prvním skenování je nutné vědět, kde bude následující skenovací pozice. Terče musí být proto rozmístěny tak, aby alespoň na dva z nich bylo vidět z druhé skenovací pozice, aniž by se jejich pozice změnila. Ze schématu je vidět, že skener v pozici 01 má výhled na terče 01,02 a 03. Provede se skenování a po nebo před ním zároveň určení pozic terčů s jejich identifikací. Poté se přesune skener do druhé skenovací pozice. Je zapotřebí tří terčů, přičemž na terče 02 a 03 má skener výhled i z této pozice. Jediné, co je zapotřebí, je natočení terčů plochou ke skeneru. Dále se musí zvolit třetí terč, který bude zároveň spojovacím terčem pro další skenovací polohu. Vhodně je zvolen např. terč 04. Po naskenování pozice dva se uloží tento nový terč 04. Terčům 02 a 03 se přiřadí stejná identifikace jako u prvního skenování. Skener tak ví, v jaké poloze je vůči první skenovací pozici. Takto se pokračuje na pozice 3 a 4. Registrace (spojení) skenů se pak v SW provede automaticky dle ID terčů.

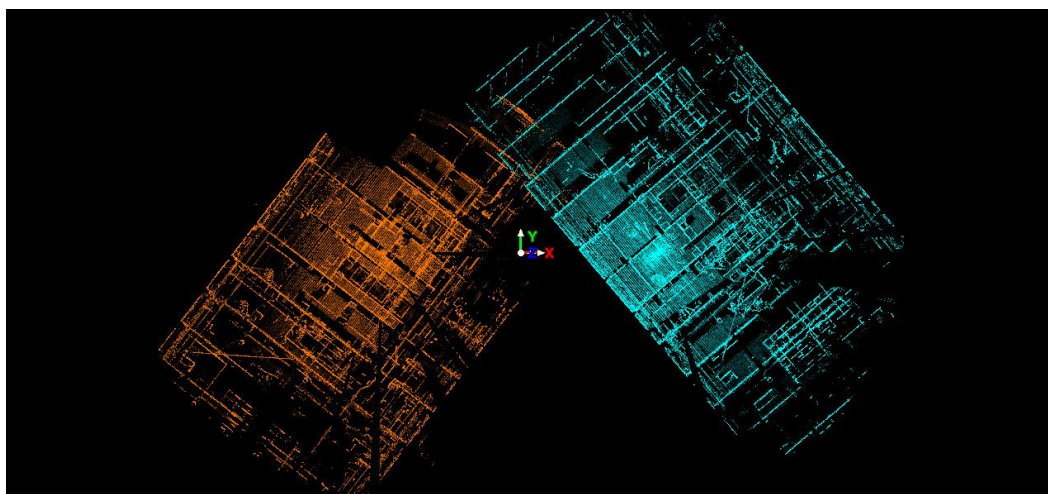
Donedávna byl tento způsob jediným možným způsobem skenování. Někdy je použití tohoto způsobu stále nevyhnutelné, zejména v nesymetrických terénech (venkovní krajina). Nevýhodou tohoto způsobu je, že při rozsáhlých skenováních se používá velké množství ID terčů a snadno tak dojde ke špatnému přiřazení ID správnému terči. Skeny se pak při následné automatické SW úpravě špatně spojí a je nutné ručně dohledávat správné terče. Kromě toho skenování terčů prodlužuje čas pořízení skenů.



Obr. 19 Princip rozmíst'ování terčů a skenovacích pozic

#### d) Skenování bez terčů

S postupným vývojem SW pro spojování a úpravu skenů se objevila i možnost skenování bez terčů. Jednotlivé skeny se v SW nespojují automaticky na základě ID terčů, ale ručně. Při tomto způsobu se v SW skeny na sebe přibližně nasadí pomocí nějakého společného elementu. Tímto elementem může být například roh místnosti, část stroje, schodiště apod., který je naskenován alespoň ve dvou skenech. SW poté doladí drobné odchylky. Ukázku takovýchto dvou skenů vidíme na Obr. 20, kdy bude cílem modrý sken natočit a nasadit na červený sken pomocí nějakého elementu.



Obr. 20 SW spojování dvou skenů



## 2.2.Zásady při skenování

V této části budou uvedeny některé zásady, které je nutné před a při skenování dodržet, aby došlo k získání kvalitních a použitelných dat a aby bylo zvoleno správné zařízení a správná technika. Jelikož se chyby vzniklé při skenování často zjistí až při jejich počítačovém zpracování, je nutné se alespoň těm zásadním vyhnout již v průběhu skenování.

Před započítím jakékoliv práce se skenerem bylo sestaveno 6 otázek, které slouží k analýze vlastního skenování a následného zpracování dat. Odpovědi na tyto otázky pomohou jednak vybrat vhodné technické zařízení a jednak zvolit správné techniky skenování:

- **K čemu budou naskenovaná data sloužit?** (reverzní inženýrství, kontrola, 3D tisk, podklad pro další modelování designu,...)
- **Jak velký objekt budeme skenovat?** (každý skener je určen pro určité rozmezí, překročení tohoto rozmezí znamená zmenšení přesnosti)
- **Skenování s texturou nebo bez textury?** (s barvou objektu nebo bez)
- **Místo skenování** (na dílně, mimo budovu, laboratoř, extrémní podmínky,...)
- **Kolik času máme na naskenování objektu** (např. při skenování lidského těla je nutné zachytit celou postavu během pár sekund, jinak se podoba těla neustále mění)
- **V čem budeme data dále zpracovávat**

Otázky umožňují sestavit seznam požadovaných vstupů do procesu skenování a zpracování dat. Vše bude ukázáno na konkrétním příkladu v praktické části.

[4]

Jakmile máme zajištěné potřebné požadavky, před samotným skenováním na místě je ještě potřeba dodržení těchto zásad pro získání kvalitních a použitelných dat:

**Snížit rušivé vlivy na minimum** - Ideálním stavem při skenování je takový stav, při kterém je skenovaný objekt zcela bez pohybu. V praxi, zejména v průmyslové, je však dosažení takového stavu značně obtížné a někdy nereálné. Skenování výroby v sobě zahrnuje pohyb zaměstnanců, pohyb zařízení, vibrace a další rušivé vlivy. Ty nejen že snižují kvalitu skenu, ale navyšují čas zpracování dat jejich eliminací. Je proto dobré přizpůsobit okolí tak, aby se ve skenované oblasti rušivé elementy vyskytovaly pouze, pokud je to doopravdy nezbytné.

**Analýza místa** - Skener po začátku skenování musí zůstat ve své poloze bez sebemenšího pohnutí. Je proto nutné před umístěním skeneru na pozici zvážit vhodnost této pozice. Nemůžeme například skener umístit do uličky, kde každých několik minut projede vozík. Ideální je proto umístit skener do pozice, kde bude zaručeno, že se nebude muset skenování přerušit a skener z místa odstranit.

**Evidence ID a pozic při použití terčů** – Pokud budeme při skenování používat terče, je užitečné vést i evidence ID jednotlivých terčů a pozic například zápisem do layoutu. Jak bylo uvedeno výše, s rostoucím počtem terčů roste i riziko vzniku chyby špatným označením a následnými komplikacemi při zpracování dat.

**Volba vhodných skenů při skenování bez terčů** – Při metodě skenování bez terčů se skeny nespojují podle ID terčů, ale ručně skládáním. Při pořizování dat proto musíme volit pozice skenů tak aby bylo možné skeny následně spojit, čili z nové pozice musí být vidět alespoň na jednu předchozí a musí zde být vhodný spojovací prvek (např. roh místnosti).

**Lesklé materiály** – Jelikož skenery fungují na principu odrazu paprsku, mohou částečně způsobit potíže odrazivé materiály (zrcadla, některé druhy skel,...). Chyba se projeví výskytem anomálií v datech při jejich zpracování. Pokud tyto anomálie mohou model značně ovlivnit, je nutné při skenování odrazivé povrchy zakrýt nebo odstranit.

Na tyto zásady je dobré myslet před samotným skenováním. Dále je nutné dodržovat všechny kroky při nastavování skeneru a ukládání dat. Tyto kroky budou uvedeny v praktické části.

### 3. Shrnutí teoretické části

V úvodu teoretické části byl vysvětlen princip laserového skenování. Skenovaný obraz se získává na základě odrazů paprsku a následného výpočtu souřadnic koncových bodů těchto paprsků. To vše je zajištěno mechanickou synchronizací hlavních částí skeneru. Byly zde zmíněny i tři důležité pojmy:

- **Skenovací pozice** – pozice umístění skeneru při pořizování právě jednoho skenu mračna bodů
- **Bodové mračno** – množina bodů objektu získaná laserovým skenováním, výstup laserového skeneru
- **Registrace mračen bodů** – spojení n mračen bodů získaných z n skenovacích pozic do společného modelu

Dále bylo ukázáno rozdělení skenovacích zařízení jednak podle principu získávání dat, jednak podle jejich pohyblivosti, ale především podle **základních parametrů skenerů**, kterými jsou **dosah skeneru, přesnost skeneru, rychlost skeneru**. Tyto parametry jsou důležitými ukazateli při výběru skeneru pro konkrétní práci.

Poté byly popsány základní části a příslušenství laserového skenovacího zařízení – skenovací hlava a její funkční části, stojan skeneru a skenovací terče. Následně byly uvedeny oblasti využití skenerů a jejich přínosy:

- Strojní průmysl – **modelování a ověřování 2D a 3D layoutů, vizualizace výroby, validace výrobků, reverzní inženýrství, kontrola kvality**
- Stavebnictví – **modely budov, urbanistické projektování, modely podzemních prostor**
- Geodézie – modely krajiny, analýzy sesuvů půdy, mapování terénu
- Archeologie, kriminalistika, filmový a herní průmysl

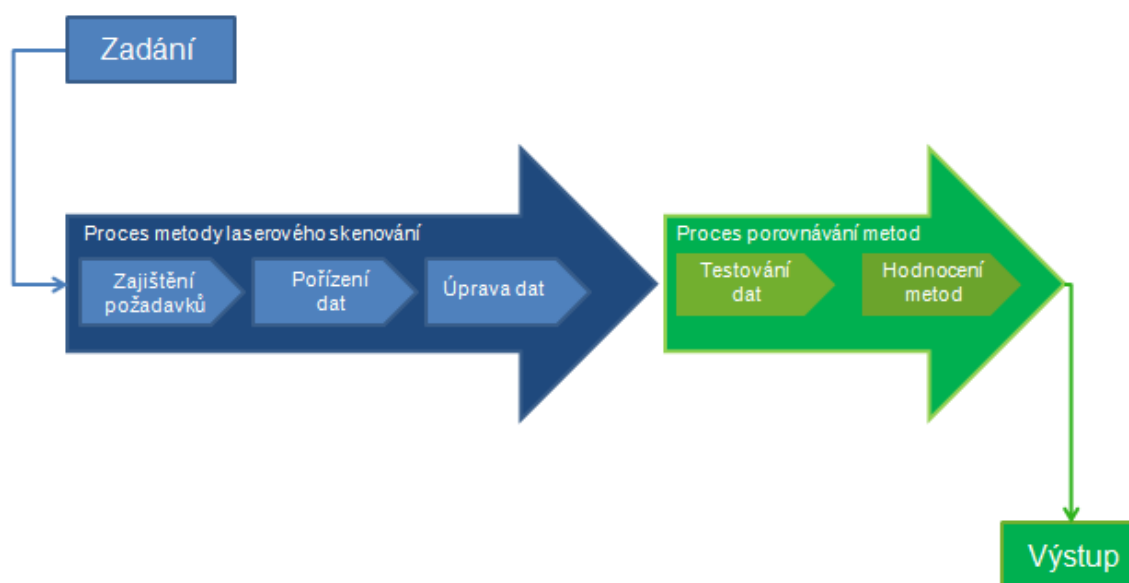
V další části byl proveden průzkum současného trhu. Byli představeni tři největší výrobci skenovacích systémů a jejich produkty. V současné jsou v nabídce v drtivé většině nejrychlejší skenovací systémy a dále o třídu pomalejší systémy pro nenáročné práce. Ceny systémů za poslední tři roky rapidně klesly a prozatím se ustálily, jelikož prozatím skenovací zařízení dosáhla svého výkonnostního maxima. Také bylo ukázáno, že výkon zařízení roste rychleji, než jeho cena, proto je dobré před pořízením skeneru zvážit, zda je pro naše potřeby výhodnější levnější nebo jednou tolik dražší, avšak několikanásobně výkonnější zařízení.

Další část se zabývala různými technikami skenování, a sice **skenováním celého prostoru, skenováním části prostoru, skenování s použitím terčů a skenováním bez použití terčů**. V závěru byly vysvětleny základní zásady a doposud zjištěné problémy před a během pořizování skenu.

V následující praktické části budou všechny teoretické poznatky a výsledky průzkumů využity pro získání požadovaných výstupů.

## 4. Praktická část

Úvodem praktické části práce je model procesu jejího zpracování, který je na Obr. 20. Model se skládá ze dvou částí – z obecného modelu procesu skenování a specifického modelu procesu porovnání metod. Proces skenování můžeme považovat za obecný model skenování, jelikož zahrnuje kroky, které je nutné splnit při každém pořizování skenovaných dat, bez ohledu na jejich následnou úpravu. Specifickým procesem v našem případě je proces porovnávání metod. V jiných případech to může například proces analýzy stavby, proces simulace nového výrobku apod. Jednotlivé sub-procesy budou v rámci praktické části podrobně rozebrány a popsány.



Obr. 21 Proces praktické části

### 4.1. Zadání, výstup

Základním vstupem do procesu je zadání. Zadáním práce je zhodnocení využití laserového skeneru jako podpory průmyslového inženýrství. Hodnocení využití proběhne na základě porovnání této metody s doposud běžně používanými metodami. Výstupem pak bude hodnocení metody podložené daty a poznatky zjištěnými při testování a následná doporučení případně návrhy možného navázání na práci.

## 4.2. Proces metody laserového skenování

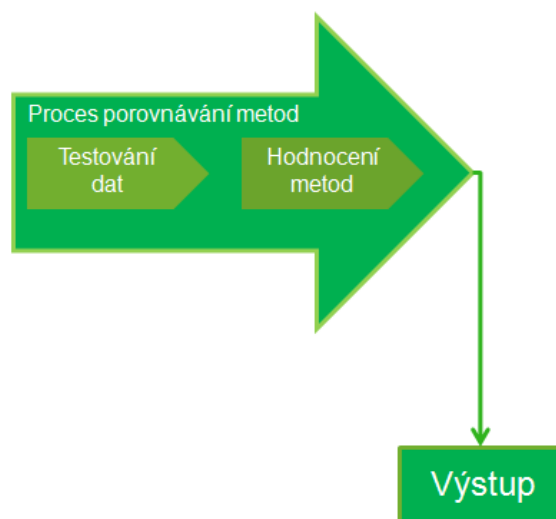
Jak bylo zmíněno dříve, jedná se o obecný postup při každém projektu, kde se pracuje se skenovanými daty. Vstupujícím členem do procesu je zadání at' už projektu, nebo této práce. Prvním krokem pořízení dat je zajištění požadavků, což představuje analýzu a technické zajištění projektu. Následuje samotné pořizování dat a jejich základní úprava, která je nutná u jakýchkoliv skenovaných dat. Výstupem pak jsou data připravená na další zpracování. Základní proces je na Obr. 22.



Obr. 22 Model procesu laserového skenování

## 4.3. Proces porovnání metod

Tento proces je tvořen na základě zadání. Vstupujícím členem jsou připravená data z předchozího procesu. Tato data budou následně testována jako podklad pro projektování výrobních systémů. Primárně se bude jednat o tvorbu a analýzu layoutů jak 2D tak 3D. Během toho budou shromažďovány údaje o čase, náročnosti a dalších vlivech při použití této metody. Tyto hodnoty se pak porovnají s hodnotami zjištěnými při zpracování stejných činností klasickými metodami. Porovnávat se bude i kvalita výstupů obou metod. Na základě porovnání proběhne zhodnocení metody laserového skenování doplněné o návrhy a doporučení, které tvoří výstup práce.

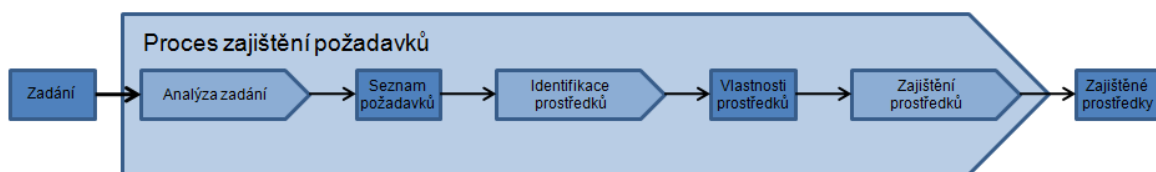


**Obr. 23** Proces porovnávání metod

V následujících kapitolách budou podrobně rozebrány a popsány jednotlivé sub-procesy základního procesu.

## 5. Proces zajištění požadavků

Prvním procesem v řetězci je zajištění požadavků, jehož model můžeme vidět na Obr. 24. Vstupem do procesu je zadání celé práce. Na základě zadání se provede analýza zadání, která představuje zodpovězení základních otázek. Identifikace prostředků pak stanovuje, jaké potřebujeme prostředky a jaké musejí mít tyto prostředky vlastnosti. Jakmile jsou stanoveny potřebné prostředky s jejich vlastnostmi, provede se výběr konkrétních zařízení a ostatních prostředků nutných pro projekt.



Obr. 24 Proces zajištění požadavků

### 5.1. Analýza zadání

Prvním krokem je analýza zadání. Jak bylo uvedeno v kapitole 2.2, před začátkem jakéhokoliv projektu s využitím laserového skeneru je nutné zodpovězení základních otázek, které nám vytvoří základní požadavky na provedení práce.

#### a) K čemu budou naskenovaná data sloužit

Naskenovaná data budou sloužit k výzkumným účelům. Z tohoto důvodu je vhodný výběr základního a levnějšího skenovacího zařízení, kde se vyzkouší jeho možnosti. Pro tyto účely postačí slabší, méně nákladné, zařízení. Předmětem testování bude použití bodového mračka jako podkladu pro tvorbu a analýzu layoutů a jeho částí.

Dále bude analyzován samotný proces skenování a také kvalita výstupních dat. Pro zkoumání těchto hodnot bude zapotřebí delší operační čas skeneru. Jelikož ve výrobě by nebylo delší umístění skeneru na pozicích možné, bude nutné zajistit další objekty pro testování.

#### b) Jak velký objekt budeme skenovat

Objektem našeho skenování bude výrobní úsek výrobního podniku. Vhodným skenovacím zařízením bude systém se středním dosahem (10 – 100m), systémy s delším dosahem by byly pro tento typ skenování zbytečně nákladné a navíc s rostoucím dosahem klesá i přesnost bodového mračka, systémy s krátkým dosahem by byly nevyhovující pro vzdálenosti v objektu, jako je výrobní podnik. Pro skenování vnitřních prostor je vhodné



použití metody skenování bez terčů. Používat budeme jak skenování celého prostoru, tak skenování určitého úseku, například jednoho pracoviště, pro ergonomické analýzy.

#### **c) Skenování s texturou nebo bez textury**

Zachycení textury přímo při skenování nám značně zkrátí čas samotného modelování a navíc zvýší i realističnost výsledného modelu. Potřebujeme proto skenovací zařízení se schopností zachycení textury.

#### **d) Místo skenování**

Skenování bude prováděno ve výrobním podniku za provozu. Bude se jednat o strojní výrobu, tudíž je nutné počítat s ovlivněním vnějšími vlivy, především pohybem zaměstnanců a zařízení, vibracemi a také prašným prostředím. Dále bude nutné promyšlení umístění skenovacích pozic, jelikož prostor výrobní haly bude z větší části zaplněn nebo využíván k manipulaci či dopravě a skenováním nesmí být ovlivněn chod výroby. Proto je zde důležitá i rychlost skenování.

Abychom mohli provést hlubší analýzu samotného procesu skenování a porovnání kvality získaných dat, bude zapotřebí zajistit ještě další objekt skenování mimo výrobu.

#### **e) Kolik času máme na naskenování objektu**

Skenovaným objektem je část výrobního úseku, nejsme proto nějak výrazně časem tlačeni, avšak kvůli zachování plynulosti výroby nemůžeme zároveň skenování zbytečně prodlužovat, zejména pokud bude nutné umístění skeneru ve vytížených prostorech. Naskenování potřebných dat by nemělo být delší než několik hodin.

#### **f) V čem budeme data dále zpracovávat**

Data musejí projít čištěním a jejich registrací. Pro toto zpracování je nutné zajištění specializovaného SW pro tyto operace. Následně proběhne testování na dosud používaných SW, proto bude nutné zajistit i tyto SW. V případě potřeby bude možné zajistit i dosud nepoužívané SW s potenciálem využití při zpracování. Zpracování dat je činnost velice náročná na počítačové vybavení, bude proto nutné zajistit i potřebný HW.

### **5.2. Identifikace prostředků**

Z analýzy zadání plynou tyto požadavky na zajištění zařízení:

- Zajištění výrobního podniku pro pořízení dat
- Zajištění objektu skenování pro hlubší analýzu procesu skenování

- Potřebné skenovací zařízení: s vysokou přesností (2 mm), středním dosahem (10 – 100m), vysokou rychlostí snímání (1000 – 50 000 bodů/s) a vybavené schopností snímání textury
- Potřebný SW: SW pro základní úpravu a čištění dat, SW pro tvorbu a analýzu layoutů výroby, SW pro ergonomické analýzy, další SW s potenciálním využitím
- Výkonné počítačové vybavení: min. 16GB RAM operační paměť, GPU min 4GB,
- Analýza místa skenování: Předběžná analýza proveditelnosti skenování
- Stanovení faktorů sledování
- Stanovení technik skenování

### **5.3.Zajištění prostředků**

Nyní víme, jaké budeme potřebovat prostředky a jaké musejí mít vlastnosti. Dalším krokem je tedy výběr konkrétních zařízení a příslušenství a jejich zajištění.

#### **5.3.1. Zajištění objektů skenování**

##### **a) Výrobní podnik – KERMI s.r.o.**

Pro skenování byla zajištěna firma KERMI s.r.o. ve Stříbře. Firma se zabývá výrobou otopných systémů a designových sprchových koutů. Proces výroby topné techniky ve společnosti zahrnuje svařování vstupních elementů radiátorů, broušení těchto elementů, dále několikafázové lakování, kontrolu radiátorů, konečné úpravy, balení a expedici. Jedná se o velkosériovou výrobu s předmětným uspořádáním. Ve výrobě se nacházejí automatické a poloautomatické úseky.

Po domluvě nám bylo umožněno skenování úseku TVE – výroba elementů. Jedná se o výrobní halu, na které probíhají operace broušení a sváření jednotlivých částí radiátorů. Nachází se zde velké množství poloautomatických strojů, skladovacích míst a je zde i velký pohyb zaměstnanců a manipulační techniky. Svou složitostí je tento úsek pro analýzu vhodný. Část pracoviště je na Obr. 25.



Obr. 25 Část skenované výrobní haly

#### **b) Ergonomická laboratoř**

Dále provedeme sken části prostoru. Z předchozích zkušeností skenování jsme došli k závěru, že přímo ve výrobě nebude možné testovat maximální kvalitu pořízených dat z časových důvodů. Proto místo skenování konkrétního pracoviště ve výrobě bylo pro hlubší analýzu časových údajů zvoleno pracoviště v ergonomické laboratoři v prostorách univerzity. Skenované pracoviště je na Obr. 26.



Obr. 26 Skenované pracoviště v ergonomické laboratoři

### 5.3.2. Zajištění skenovacího zařízení - Laserová skenovací stanice Leica C5

Použitým skenovacím zařízením je laserový skener společnosti Leica, model C5. Celá stanice se skládá ze samotného skenovacího zařízení a nutného příslušenství popsáném v kapitole 1.3.

V následující tabulce jsou technické parametry tohoto systému. Hlavní parametry odpovídají stanoveným požadavkům. Vhodnější by bylo zařízení například C10, jehož rychlost skenování je 50 000 bodů/s. Bohužel disponujeme pouze zařízením s 25 000 bodů/s, pro naše účely je však stále vyhovující.

Parametr	Hodnota parametru
<b>FOW<sup>1</sup> vertikální</b>	270°
<b>FOW<sup>1</sup> horizontální</b>	360°
<b>Přesnost</b>	2mm
<b>Dosah laseru</b>	35m
<b>Rychlost skenování</b>	25 000 bodů/s
<b>Kapacita HDD</b>	80GB

<b>Výdrž baterií</b>	3.5 hodiny se dvěma bateriemi
<b>Provozní teplota</b>	0°C – 40°C
<b>Rozměry (h x š x v)</b>	238mm x 358mm x 395mm
<b>Hmotnost</b>	13kg
<b>Osvětlení</b>	Možnost skenování od čistého slunečního světla do absolutní tmy
<i>1 – Field – of – view: prostor, který je schopen skener naskenovat</i>	

Tabulka 3 Technické parametry skenovací stanice Leica C5

### 5.3.3. Zajištění software pro úpravu dat – Leica Cyclone, CloudCompare

Software pro úpravu naskenovaných dat většinou poskytuje přímo dodavatel skenovacího zařízení, což je výhodné z důvodu kompatibility. V našem případě je k systému připojen i software Leica Cyclone. Pro další úpravu dat jsme zvolili freeware SW CloudCompare.

#### a) Leica Cyclone

Cyclone je SW pro správu získaných skenů přímo od výrobce Leica. Základními funkcemi Cyclone je vytvoření struktury naskenovaných dat, čištění dat od rušivých vlivů a registrace dat. Obsahuje i další užitečné funkce jako detekce potrubí, automatické generování tvarů a řadu dalších, které však nejsou předmětem zkoumání v této práci.

#### b) CloudCompare

CloudCompare je freeware program pro úpravu bodových mračen a práci s nimi. Důležitou funkcí je možnost uložit bodové mračno v nativním formátu, který je kompatibilní s dalšími SW. Z registrovaného mračna broďů je zde možné vybírat pouze ty části, které potřebujeme ke zpracování, generování meshů z bodového mračna a další užitečné funkce, které budou uvedeny později.

### 5.3.4. Zajištění software pro tvorbu a analýzu layoutů – visTable, Autodesk Factory Design Suite

Tyto SW slouží pro tvorbu a analýzu layoutu výroby. Layout je vizuální zobrazení uspořádání výroby a pracovišť, často doplněné o materiálové toky, tedy směry a intenzity pohybu materiálu ve výrobě.

#### a) visTable

VisTable je doposud používaný SW pro tvorbu a analýzu layoutů. Obsahuje knihovnu modelů potřebných pro vytvoření modelu jak ve 2D tak ve 3D. Dále je doplněn o analytické nástroje jako je I-D diagram pro analýzu vhodnosti uspořádání pracovišť, zobrazení materiálových toků, nebo vytížení pracovišť.

#### b) Autodesk Factory Design Suite

Tento balík SW pro podporu modelování a analýzu layoutů v sobě obsahuje známé CAD programy jako je AutoCAD, Inventor, 3Ds max design apod. doplněné o funkce právě pro tvorbu a analýzu layoutů. Navíc tento balík dokáže velice kompatibilně pracovat se skenovanými daty, proto by bylo vhodné prozkoumat alespoň základní funkce pro práci s daty a porovnat tento SW s ostatními SW na zpracování bodových mračen a tvorbu layoutů.

#### 5.3.5. Zajištění software pro ergonomické analýzy – Tecnomatix JACK

SW pro ergonomické analýzy v sobě zahrnují umístění modelu člověka do virtuálního prostředí, kde jsou simulovány reálné činnosti. Programy jsou vybaveny celou škálou analytických nástrojů pro zkoumání zatížení partií člověka. Jelikož se v těchto analýzách využívají 3D modely pracovišť, je dobré prozkoumat potenciál bodových mračen, ať už přímo nahráním mračen do SW, nebo modelování objektů na základě bodových mračen. Zkoumat se budou zejména časové hodnoty.

#### 5.3.6. Zajištění počítačového vybavení

Doposud nebyla zjištěna přesná náročnost na HW zpracovávající data. Sledování náročnosti na výkon bude sledováno v průběhu jednotlivých činností zpracování dat. Po předchozích zkušenostech jsou však výkonnostní požadavky vybavení vysoké a proto byl zajištěn počítač s následujícími parametry.

<b>Operační systém</b>	Windows 8.1 64bit
<b>Centrální procesorová jednotka (CPU)</b>	Intel® Core™ i5-4590 CPU 3.30 GHz 4 jádra
<b>Operační paměť (RAM)</b>	16 259 MB
<b>Grafická karta (GPU)</b>	Nvidia Quadro K4200 4GB Direct3D 11

Tabulka 4 Parametry vybraného PC

### 5.3.7. Předběžná analýza místa skenování

Tato analýza je důležitá z hlediska zkoumání proveditelnosti skenování a také pro předběžnou časovou náročnost, rozmístění skenovacích pozic apod. Lze ji provést buď na základě zaslání layoutu výroby, který ovšem musí být správný, aktuální a firma jej musí mít k dispozici, nebo na základě prohlédnutí místa skenování. Mnohem vhodnější je prohlédnutí místa skenování, jelikož můžeme zjistit skutečnosti, které v layoutu nemusejí být uvedeny.

Po úvodním prozkoumání skenované haly jsme zjistili, že v hale jsou potenciální místa pro umístění skenovacích pozic, skenování nebude mít na chod výroby negativní vliv a je zde přiměřené množství rušivých elementů, jako je pohyb zaměstnanců a manipulační techniky. Z hlediska velikosti a složitosti skenovaného objektu by čas pořízení dat měl být kratší než 10 hodin. Z toho plyne závěr, že skenování objektu je proveditelné.

### 5.3.8. Stanovení faktorů sledování

Faktory sledování jsou zde míněny údaje, které budeme sledovat a sbírat pro porovnávání a hodnocení metod. Během procesu skenování budeme sledovat:

- časovou náročnost jednotlivých kroků (analýza místa, nastavení skeneru, skenování)
- Časová náročnost při různých nastaveních skeneru (kvalita, velikost skenovaného prostoru)
- případné vlivy, které budou skenování ovlivňovat
- případné problémy při skenování

Při zpracovávání dat budeme sledovat:

- časovou náročnost jednotlivých činností (příprava dat, modelování layoutu a modelů zkoumanými technikami)
- kvalitu a vypovídací schopnost výstupů
- náročnost na HW vybavení
- náročnost na uživatele
- případné problémy při zpracování dat

### **5.3.9. Stanovení technik skenování**

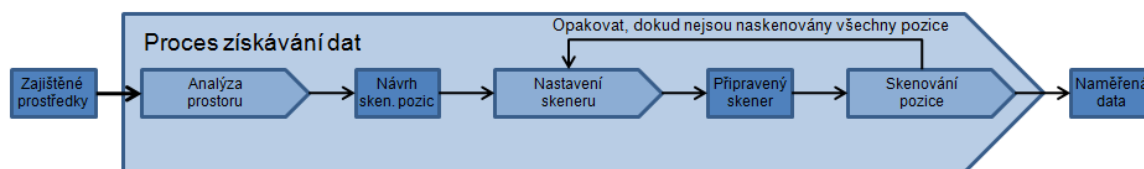
Jsou zapotřebí data pro zkoumání využití skenování při tvorbě layoutů a modelů výroby. Z toho důvodu bude potřebný sken celé výrobní haly. Jak bylo zmíněno, pro skenování vnitřních prostor je výhodnější zvolit techniku skenování bez terčů. Z hlediska nízké rychlosti skenování naší stanice bude provedeno skenování haly v nízkém rozlišení, jelikož skenování ve vyšším rozlišení by radikálně prodloužilo čas pořizování dat. Pro naše účely budou však tato data postačující.

V tuto chvíli jsou zajištěny všechny prostředky potřebné pro projekt – objekt skenování, skenovací zařízení, počítačové i programové vybavení, proveditelnost skenování, způsob skenování a hodnoty, které budeme sledovat. Toto představuje výstup procesu zajištění požadavků a zároveň vstup do procesu pořizení dat, který je popsán v následující kapitole.



## 6. Proces získávání dat

Tento proces probíhá v objektech skenování, tedy ve výrobní hale firmy a ergonomické laboratoři. Vstupem jsou jednotlivé zajištěné prostředky. První činností je analýza prostoru, kdy se jedná o stanovení konkrétních skenovacích pozic a časový harmonogram. Jakmile jsou stanoveny pozice, sestaví se skenovací zařízení na první pozici a provede se jeho nastavení. Pokud je skener nastaven, může proběhnout samotné skenování první pozice. Po dokončení skenu se skener přesune na další pozici a opět nastaví. Tento cyklus se opakuje, dokud nejsou naskenovány všechny stanovené pozice. Tím získáme naměřená data uložená v paměti skeneru, které jsou výstupem procesu získávání dat. Jeho model je na Obr. 27.



Obr. 27 Proces získávání dat

Detailní popis jednotlivých činností bude uveden pro skenování výrobní haly. Pro skenování ergonomické laboratoře bude uveden pouze stručný popis průběhu skenování.

### 6.1. Analýza prostoru

Před samotným postavením skeneru byla provedena analýza prostoru. Ta spočívala v konkrétním stanovení skenovacích pozic. Při tomto stanovení bylo nutné dodržovat následující pravidla:

- Skenování nesmí ovlivnit chod výroby
- Proces skenování nesmí být přerušen
- Skenovací pozice rozmístit tak, aby z každé nové pozice bylo možné zachytit pozici předchozí (čili pozice maximálně 35 metrů vzdálené bez překážek)
- Skenovací pozice musí zachytit co nejvíce bodů prostoru (neumísťovat pozici do rohu, ale snažit se umístit ji co nejvíce do prostoru)
- Umístit skenovací pozici tak, aby se minimalizoval výskyt rušivých elementů

Dle těchto pravidel museli být veškeré pozice umístěny buď mimo dopravní komunikace (na volném místě pro palety, nevyužívané prostory) nebo po domluvě s pracovníky i na místa uvnitř výroby, která po dobu skenování nebudou využívána. Tím bylo zajištěno, že

chod výroby nebude přítomností skeneru narušen a zároveň proces skenování nebude přerušeno.

Pozice se rozmístily v rozumné vzdálenosti od sebe tak, aby vzniklo dostatečné množství bodů a zároveň nedocházelo ke zbytečnému časovému prodlužování. Zároveň jsme neumísťovali pozice do míst, kde se často vyskytuje pohyb zaměstnanců a manipulační techniky. Přesto se pohybu nedalo samozřejmě vyhnout úplně.

Pro pořízení vysoce kvalitního bodového mračka výroby by bylo zapotřebí skenování ve vyšší kvalitě a rovněž i počet pozic by musel být navýšen. Pro naše účely je však kvalita skenu a počet pozic vyhovující.

## 6.2. Nastavení skeneru

Jakmile byly zadány skenovací pozice, proběhlo přesunutí skeneru na pozici číslo 1. Na této pozici, stejně jako na ostatních následujících pozicích, se provedlo sestavení a nastavení skeneru. Nastavení v sobě zahrnuje následující posloupnost činností:

### 1. Sestavení skeneru

Při sestavování skeneru se nejprve rozloží stojan, který se umístí buď přímo na podlahu, nebo lépe do kovového nástavce. Stojan lze výškově nastavovat a po každé změně výšky je nutné zkontrolovat, zda jsou všechny nohy pevně utažené. Riskujeme tím pád skeneru. Pokud jsou všechny nohy pevně ustaveny, umístí se skenovací hlava na podstavec. Hmotnost hlavy je 13kg, proto je nutné zvýšené opatrnosti při jejím umístění. Po nasazení hlavy se ke stojanu připevní stavěcím šroubem. Sestavený skener je na Obr. 28.



Obr. 28 Sestavená skenovací stanice - hlava, stojan, nástavec

## 2. Vyrovnání skeneru

Jakmile je stanice pevně sestavena, je potřeba vyrovnat skener do vodorovné polohy. Toho dosáhneme třemi šrouby umístěnými pod skenovací hlavou a kruhovou libelou (viz. Obr.29 a Obr. 30).



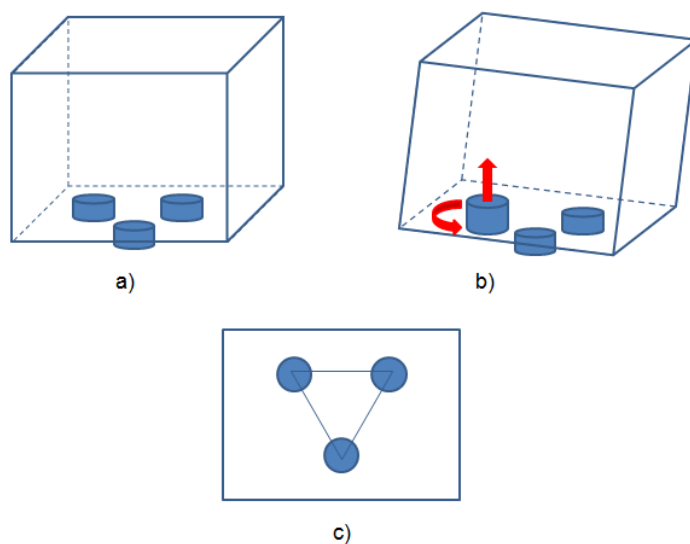
Obr. 29 Vyrovnávací šrouby hlavy skeneru



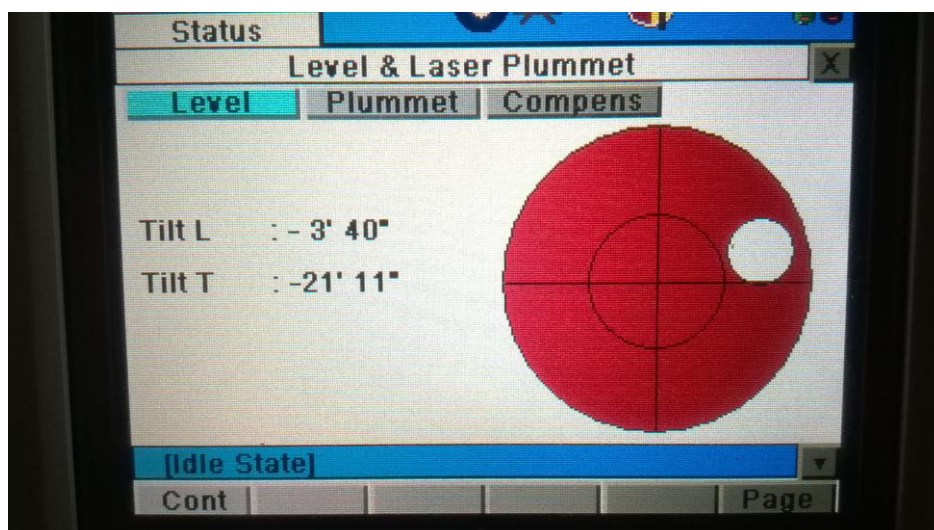
Obr. 30 Kruhová libela

Točením šrouby se mění výška na dané straně hlavy. Na Obr. 31. a) vidíme schematicky hlavu se šrouby ve vyrovnané pozici, na obrázku b) pak vidíme princip vyrovnávání, kdy otáčením jedním šroubem měníme výšku pouze tohoto vrcholu myšleného trojúhelníka,

kteřý je na obrázku c) při pohledu na skenovací hlavu shora (zdola). Točením různými šrouby se snažíme vyrovnat kruhovou libelu, tedy navést bublinku do středového kruhu libely. Na displeji hlavy je rovněž zobrazena digitální libela, která ukazuje hodnoty vychýlení viz. Obr. 32 v nevyrovnaném stavu a Obr. 33 ve vyrovnaném stavu.

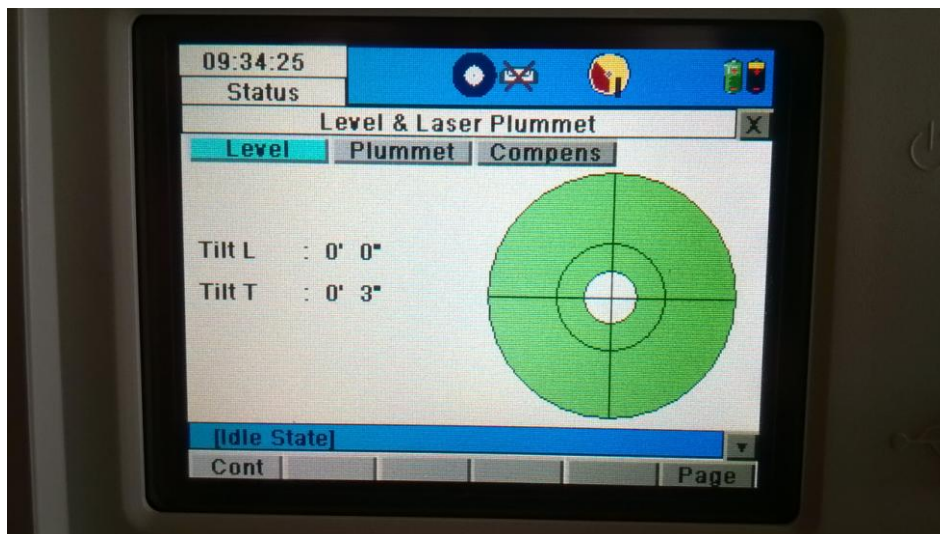


Obr. 31 a) hlava skeneru ve vyrovnaném stavu, b) změna výšky hlavy při pootočení šroubem c) rozmístění šroubů na hlavě (pohled shora)



Obr. 32 Digitální libela - nevyrovnaný stav hlavy





Obr. 33 Digitální libela - vyrovnaný stav hlavy

Ne vždy je vyrovnaní hlavy možné, je tomu tak hlavně u silně nerovných či zešikmených povrchů nebo při umístění na přechod podlahy. Při této situaci je nutné změnit skenovací pozici. Dále je možné upravit výšku jednotlivých noh podstavce. Při skenování výrobních hal však tento případ nastává velmi málo. V případě této práce z 26 pozic bylo nutné pouze jednu pozici přemístit z důvodu přechodu podlahy.

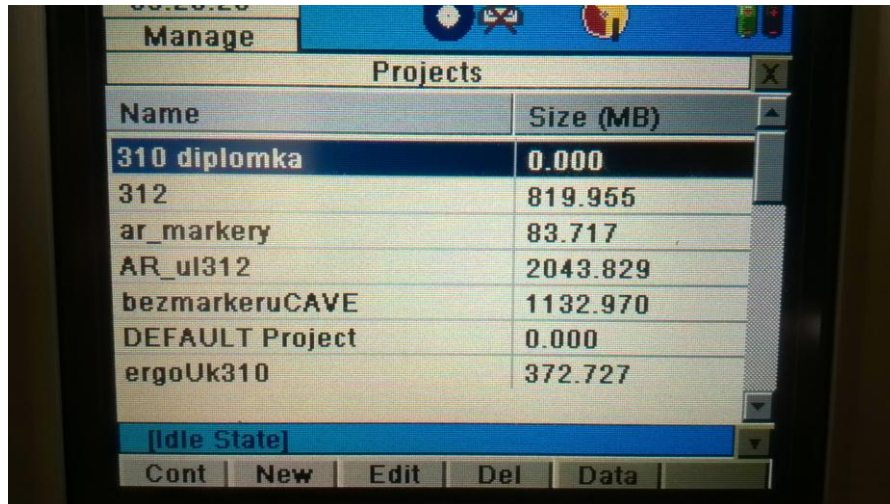
### 3. Programování skeneru

Po vyrovnaní skeneru je dalším krokem založení projektu a nastavení skenování. Nejprve je potřeba založit nový projekt, pod který se budou ukládat pořízené skenované pozice. Na Obr. 34 vidíme hlavní menu skeneru.



Obr. 34 Ovládací obrazovka skeneru - hlavní menu

Pod záložkou Manage najdeme strukturu projektů uložených v paměti skeneru viz. Obr. 35.



Name	Size (MB)
310 diplomka	0.000
312	819.955
ar_markery	83.717
AR_ul312	2043.829
bezmarkeruCAVE	1132.970
DEFAULT Project	0.000
ergoUk310	372.727

Obr. 35 Struktura projektů v paměti skeneru

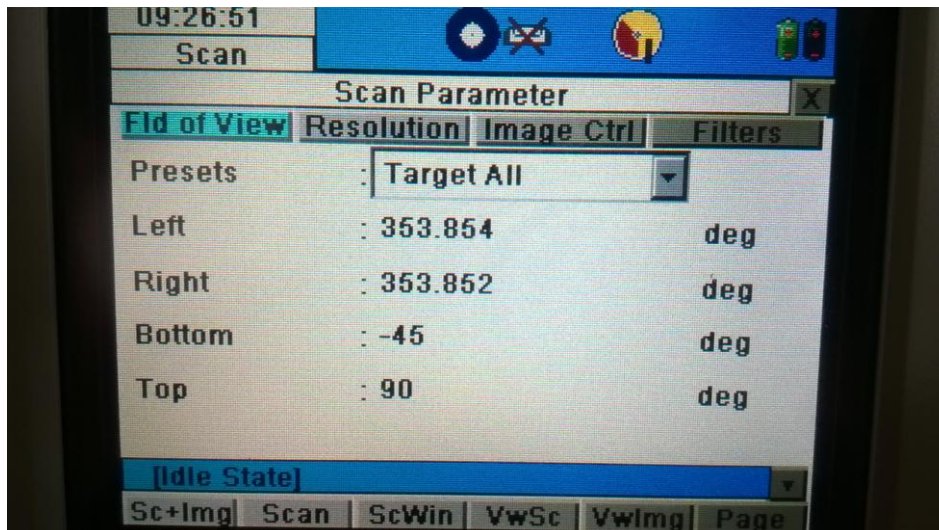
Zde můžeme projekty procházet, editovat, odstraňovat a také vytvářet. Po zvolení možnosti NEW budeme vyzváni k pojmenování a také vytvoření nového projektu viz. Obr. 36. Při následném skenování a nastavení je vždy potřeba vybrat, ke kterému bude následující skenovaná pozice přiřazena.



Obr. 36 Založení nového projektu

Rozbalením položky Scan v hlavním menu se přesměrujeme do prostředí na Obr. 37. Pod první záložkou Fld of View (Field of View) dochází k nastavení skenovaného prostoru. Při zvolení možnosti Target All viz. Obr. 37 bude naskenován celý prostor kolem skeneru. Při zvolení možnosti Custom View viz. Obr. 39 můžeme nastavit velikost skenovaného

prostoru. Při nastavení na Obr. 39 by byl skenován prostor přibližně 10° ve vodorovném směru a 10° ve svislém směru.



Obr. 37 Nastavení skenovacích parametrů - skenování celého prostoru

Jakmile je nastaveno, jak velký prostor budeme skenovat, přejdeme k další záložce Resolution. V této záložce je zapotřebí nastavit kvalitu skenu. Kvalita skenu určuje, kolik bodů bude naskenováno. Pro nejnižší nastavení bude naskenováno přibližně 639 000 bodů. Každá další vyšší úroveň kvality obsahuje 4x vyšší množství bodů. S rostoucí kvalitou ovšem roste i čas skenování.

Po nastavení kvality lze přejít k poslední záložce Image Ctrl (Image control) kde se nastavuje expozice obrazu. Je možné ji nastavit automaticky nebo manuálně.

Tímto je skener připraven na skenování. Před zapnutím je důležité odejmout madlo hlavy skeneru, jinak by nedošlo ke skenování horních pozici laserového vysílače.

### 6.3.Skenování pozice

Potvrzením na displeji započne samotné skenování pozice. Během této doby je snahou vyvarovat se zbytečným pohybům v dráze laseru. Pohyby v dráze skenování mají za důsledek snížení kvality dat a také nutné odstranění šumu (viz pozdější kapitola). Vysílač laserového paprsku je oboustranný. Vysílá tudíž paprsek na obě strany vysílače zároveň a díky tomu postačí, aby se skenovací hlava kolem své osy otočila pouze o 180°. Doba skenování je závislá jak na rychlosti skeneru, tak na nastaveném rozlišení.

Jakmile je skenování dokončeno, proběhne druhá fáze a tou je pořízení fotografií prostoru. Fotografování probíhá pouze, pokud zvolíme skenování s texturou, čímž získáme u



každého skenovaného bodu i jeho RGB hodnoty (barvu bodu). Rovněž při focení je nutné snížit pohyb před kamerou na minimum z důvodu správného obarvení bodů.

Po pořízení fotografií se skenovací pozice uloží do paměti a skenování pozice je u konce. Následuje přemístění skeneru na další pozici. Skenovací hlava se pomocí šroubu uvolní a z bezpečnostních důvodů umístí do přepravního boxu. Stojan a nástavec se složí a přemístí na další skenovací pozici, kde se opakují všechny činnosti nastavení a skenování. Tento postup se opakuje, dokud nejsou naskenovány všechny pozice. Po každém sestavení na nové pozici se doporučuje ověřit uložení předchozí pozice.

#### **6.4.Skenování ergonomické laboratoře**

Po pořízení dat z výrobního podniku následovalo pořízení dat z ergonomické laboratoře. Zde byly prováděny experimenty s nastavením skeneru a také skenování jednoho pracoviště. Veškeré kroky z předchozích částí kapitoly byly provedeny i zde:

##### **a) Analýza prostoru**

Skenovaným objektem byl montážní stůl s příslušenstvím a regál s příslušenstvím viz. Obr. 38. Oba objekty jsou umístěny u stěny, proto nebude nutné skenování zadní části. Z hlediska nedostatku prostoru bylo provedeno skenování ze tří pozic, přičemž pouze v jedné pozici bude zapotřebí umístit skener na stojan. Pro umístění ostatních pozic využijeme stolů v místnosti.



**Obr. 38 Skenovaný prostor ergonomické laboratoře**

V laboratoři nebyly omezené podmínky jako ve výrobní hale. Nevyskytují se zde rušivé elementy, není zde podmínka neovlivnění chodu výroby a nejsme časově závislí.



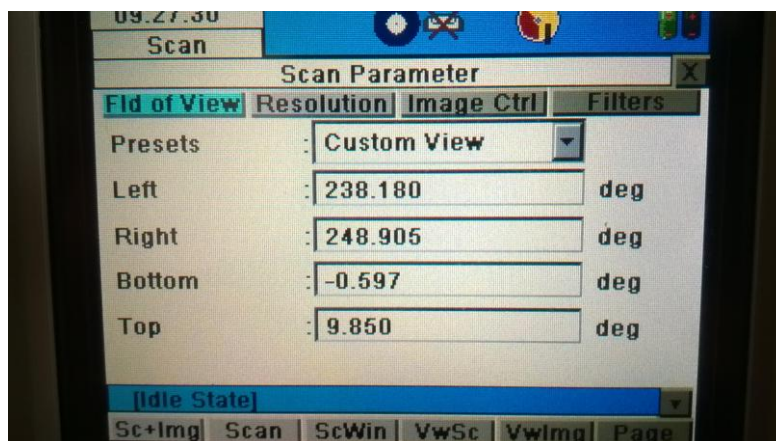
## b) Sestavení skeneru

V první pozici byl skener složen stejným způsobem jako ve výrobní hale – na rozložený stojan se umístí skenovací hlava, zajistí se šroubem a vyrovná se pomocí šroubů. Další dvě pozice budou umístěny na stolech ze stran pracoviště kvůli nedostatku prostoru pro sestavení podstavce a také z důvodu vhodnosti skenování objektu z nižších pozic. Na stůl se položí skenovací hlava a opět se provede vyrovnání.

## c) Programování skeneru

Jelikož je nutné získat sken pouze pracoviště, či-li části prostoru, nebude skenována celá místnost ale pouze stůl s regálem. Po založení nového projektu ve skeneru se provedlo nastavení skenovacích parametrů. Rozdílem oproti skenování výrobní haly je zde nastavení Custom View. Zvolením tohoto nastavení můžeme určit velikost skenovaného prostoru. Zadáváme 4 parametry:

- Levá koncová pozice – určuje levý krajní bod natočení hlavy skeneru kolem svislé osy
- Pravá koncová pozice – určuje pravý krajní bod natočení hlavy skeneru kolem svislé osy
- Horní koncová pozice – určuje horní krajní bod natočení laserového vysílače kolem vodorovné osy
- Dolní koncová pozice – určuje dolní krajní bod natočení laserového vysílače kolem vodorovné osy



Obr. 39 Nastavení parametrů skenování - skenování části prostoru

Při nastavení dle obrázku by se hlava otočila během skenování kolem svislé osy o  $10^\circ$  a laserový vysílač by se natáčel přibližně  $10^\circ$  pod nulovou osou ve vodorovném směru.

Abychom zachytily celý skenovaný objekt (stůl a regál), je potřeba určit velikost prostoru, ve kterém se nacházejí. Toho dosáhneme tak, že si zvolíme záložku ScWin (Obr. 39 spodní lišta) čímž se nám na displeji zobrazí pohled ze skeneru. Pootočením skeneru tak, abychom viděli levý krajní bod (levý okraj montážního stolu) určíme výchozí bod nastavení  $0^\circ$ . Poté pootočíme skenerem tak, abychom viděli pravý krajní bod (pravý okraj regálu). Podle velikosti pootočení buď odhadem, nebo odměřením na skeneru zjistíme, o kolik stupňů jsme pootočili hlavu a jakou hodnotu zadáme do pravého krajního bodu.

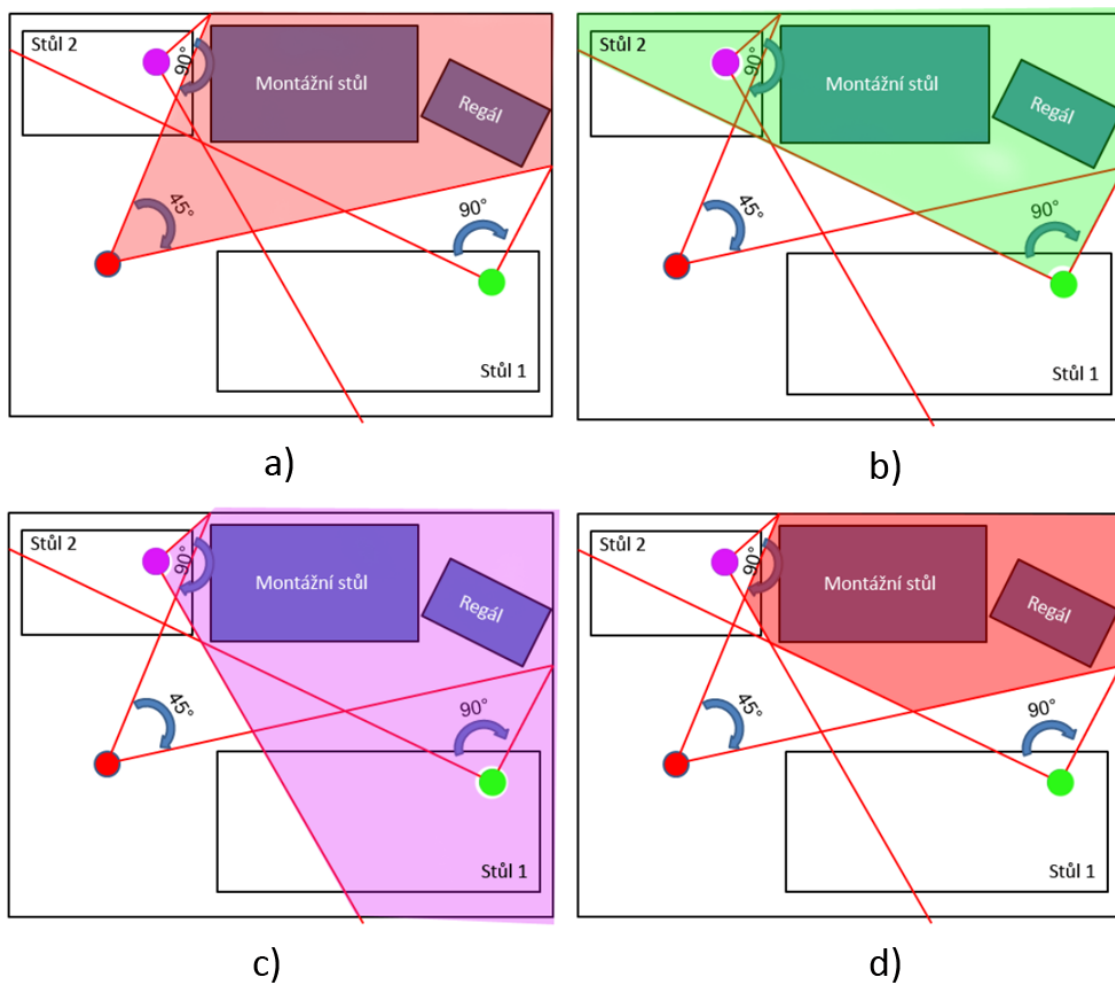
Podobným způsobem zjistíme i vertikální rozměr skenovaného objektu. Zde však neotáčíme manuálně laserovým vysílačem, ale ovládáme ho dotykovým displejem. Jakmile máme ohraničený prostor skenování, nastavíme jako ve výrobní hale rozlišení skeneru a také expozici obrazu. Toto nastavení je nutné opakovat u všech skenovacích pozic. Je tedy zřejmé, že čas nastavení jedné pozice u skenování části prostoru je delší než při skenování celého prostoru.

#### **d) Skenování**

Pro pořízení prostorového modelu pracoviště byly zvoleny 3 pozice. I zde platí: čím více pozic, tím reálnější model. Na Obr. 40 vidíme rozložení místnosti a skenovací pozice včetně prostoru, který je v jednotlivých pozicích naskenován (a) pozice1, b) pozice2, c) pozice3). Natočení kolem svislé osy je voleno tak, aby byly naskenovány okrajové body požadovaných objektů (montážní stůl a regál). Požadovaný výstup je pak průnik všech skenovacích pozic (obrázek d)), ve kterém se nachází prostorový model pracoviště. Z důvodu umístění stolu u stěny nebylo možné jej naskenovat ze zadní strany a získání tak kompletního modelu.

#### **e) Měření**

Abychom mohli porovnat modelování pracoviště klasickou metodou a metodou skenování, musíme získat i data modelování klasickým způsobem. V tomto případě se jedná o fotografie, dále skici jednotlivých objektů a jejich rozměry.



Obr. 40 Skenovací pozice ergonomické laboratoře

## 6.5. Vyhodnocení procesu získávání dat

Během procesu skenování byly sledovány časy jednotlivých činností a také další vlivy působící na získávání dat. Časové hodnocení procesu jak ve výrobní hale, tak v ergonomické laboratoři jsou v následujících tabulkách.

Činnost	Doba trvání činnosti
Nastavení skenovací pozice (přenos na pozici, sestavení, vyrovnaní, nastavení)	4min
Skenování jedné pozice	3min 25s
Fotografování pozice	4min 15s
Celková doba pořízení jednoho skenu	11m 40s
Celková doba skenování haly (26 pozic)	5h

Tabulka 5 Trvání činností získávání dat ve výrobě

Činnost	Doba trvání činnosti
Nastavení skenovací pozice	10min
Skenování jedné pozice	26min
Fotografování pozice	1min 50sec
Celková doba pořízení jednoho skenu	36min 50sec
Celková doba skenování pracoviště (3 pozice)	1hod 50min

Tabulka 6 Trvání činností získávání dat v ergonomické laboratoři

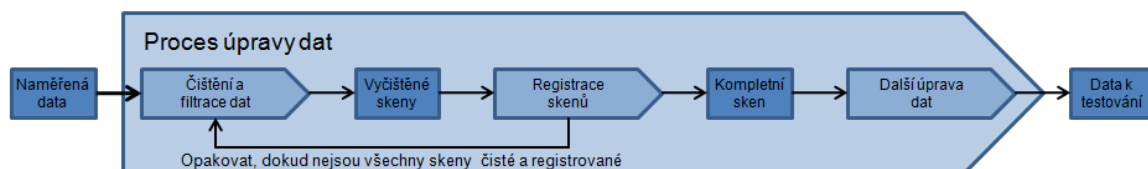
Při získávání dat byla zjištěna následující fakta:

- Z důvodu umístění výrobní haly v podlaží bylo po celou dobu pořizování dat skenování ovlivněno vibracemi. Při sledování změn vyrovnané polohy skeneru jsme zjistili, že vibrace způsobovali odchylky +/- 0°5' při lehkých, avšak člověkem pociťitelných vibracích. Tato hodnota může být tolerovaná, jelikož je uvnitř hraničních hodnot libely

- Během skenování nedošlo k žádnému ovlivnění chodu výroby
- Během skenování došlo k vybití baterií. Pro časově náročnější pořizování dat je tedy nutné dobíjení baterií během skenování
- Nelze skenovat jakékoliv prostory. Například v úseku lakovny by nebylo možné z bezpečnostních důvodů skenovat pracoviště automatických lakovacích boxů, kde se nachází zařízení velice citlivá na elektrické výboje. V tomto úseku je zakázáno používat elektronická zařízení, dokonce i vodivou obuv. Z toho důvodu a také z důvodu vysokého výskytu prašných látek by toto pracoviště nemohlo být skenováno
- Pokud bychom chtěli zachytit všechny plochy skenovaného objektu, musely by být všechny dílčí objekty naskenovány ze všech směrů. Potíž vzniká při velké koncentraci strojů na malém prostoru, kdy nelze naskenovat všechny části jednotlivých strojů
- Množství skenovaných bodů roste s každou úrovní kvality dvojnásobně
- Čas skenování roste s každou úrovní kvality čtyřnásobně

## 7. Proces úpravy dat

V tomto bodě jsou k dispozici potřebná data z terénu. Nyní následuje další část metody skenování, kterou je zpracování naměřených dat pro jejich další využití. Proces úpravy dat vidíme na modelu na Obr. 41. Vstupem jsou naměřená data uložená v paměti skeneru. Po nahrání dat do prvního zpracovacího softwaru je nutné je očistit od rušivých elementů a zhodnotit jejich kvalitu. Poté se provede spojení čistých skenů (registrace) do kompletního modelu. Tento model se pak převede do vhodného formátu a tím získáme kompletní sken připravený pro další práci. V tomto konečném bodě se již další zpracování liší podle účelu pořízeného skenu.

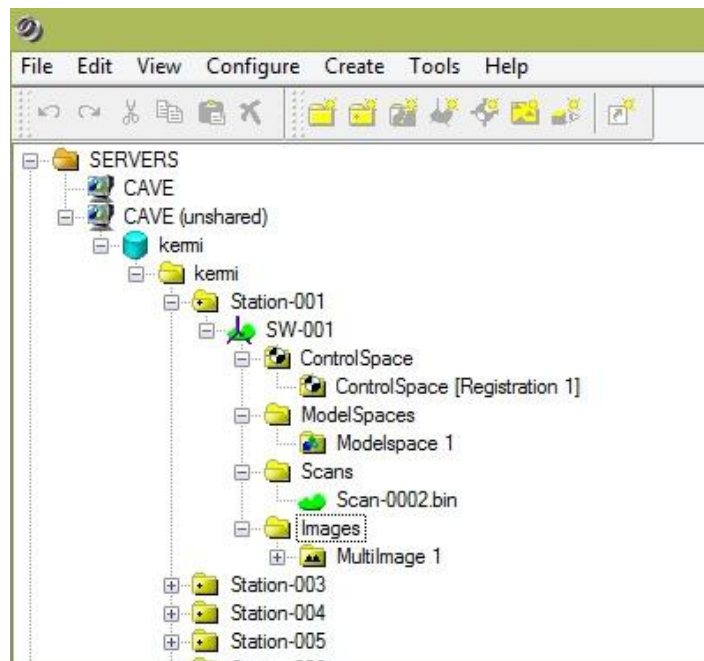


Obr. 41 Proces úpravy dat

### 7.1. Čištění a filtrace dat – Leica Cyclone

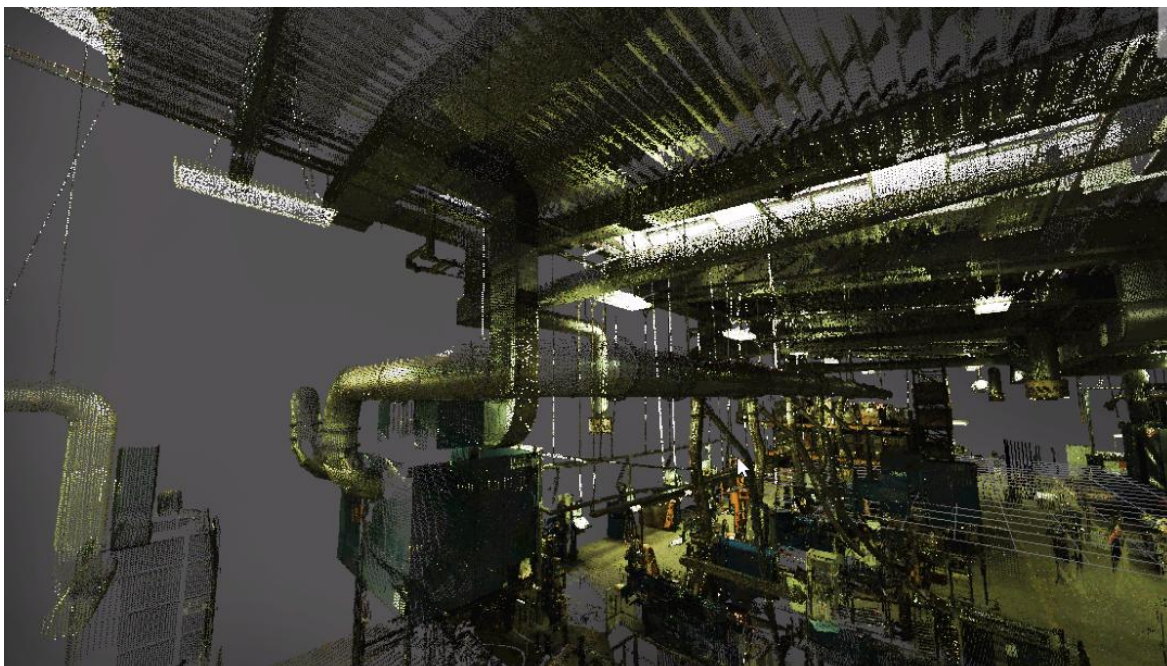
Data se ze skeneru do počítače přenesou pomocí USB. Doba nahrávání dat je závislá na jejich množství. Po převodu dat do PC je možné tento projekt nahrát do prostředí SW Leica Cyclone. Jelikož je SW od stejného výrobce jako skenovací zařízení, nevyskytují se jakékoliv potíže s kompatibilitou. Základní prostředí SW je na Obr. 42.

Zde je zobrazena struktura naskenovaných dat. Na nejvyšším stupni se nachází databáze, jejíž ID je shodné s názvem projektu, který jsme zadávali při skenování. Na další úrovni se nachází jednotlivé skenovací pozice pořízené při skenování. Na nižší úrovni jsou poté data zvaná ScanWorld (SW). Tyto představují pořízené konkrétní skeny. Ve většině případu se na každé pozici pořizuje jeden sken, ale může nastat i případ, že na jedno postavení skeneru naskenujeme více skenů (například detailnější oskenování určité části prostoru). Úroveň ScanWorld se dále větví do čtyř částí – Control Space, kde se nachází skeny připravené k registraci, Model Space, kde se jednotlivé skeny upravují a čistí, Scans – zde se nachází sken z pohledu skeneru a Images, kde jsou uloženy fotografie pro obarvení skenů.



**Obr. 42** Datová struktura skenovaných projektů

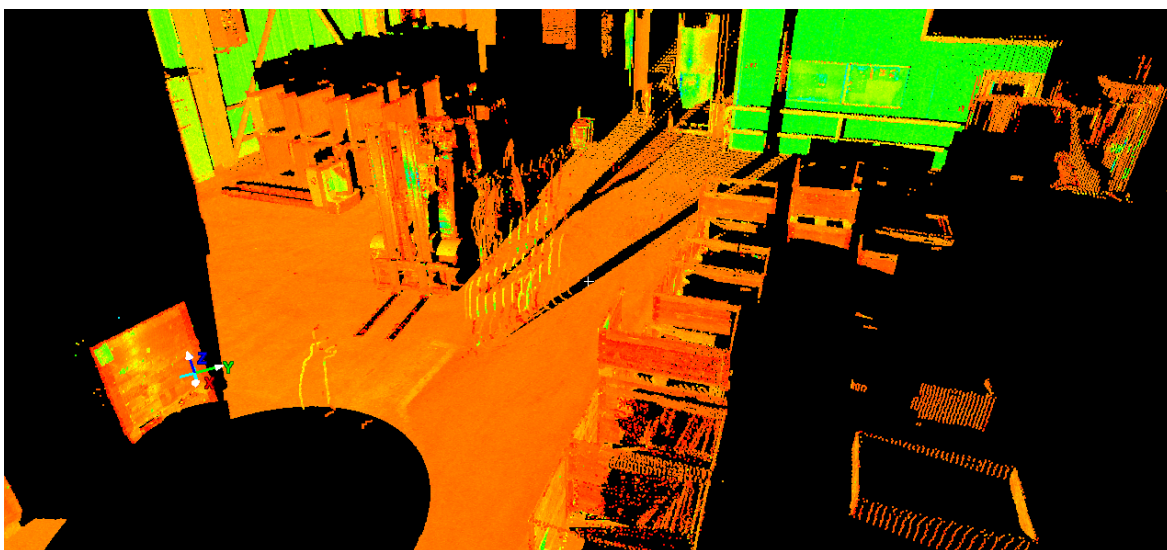
V následujících krocích je nutné u každé skenovací pozice (Station-00X) upravit její příslušný Model Space (odstranit nepotřebné a rušivé body mračen). Tento upravený model se následně uloží do Control Space příslušné stanice. Na Obr. 43 vidíme bodové mračno jedné pozice.



**Obr. 43** Bodové mračno skenované haly



Tento pohled je z pohledu skenu, tudíž vypadá jako fotografie. Pokud bychom ovšem mračno natočili, za jednotlivými objekty by se objevily „stíny“. Stín je v bodovém mračnu nenaskenovaný prostor, který nemohl být oskenován, protože mezi ním a skenerem je umístěn jiný objekt, stejně jako bychom ve tmě svítily na nějaký objekt baterkou. V Cyclone je možné bodovým mračnům přiřadit různé druhy obarvení – buďto realistické, černobílé, nebo dle intenzity barev jako je na Obr. 44.

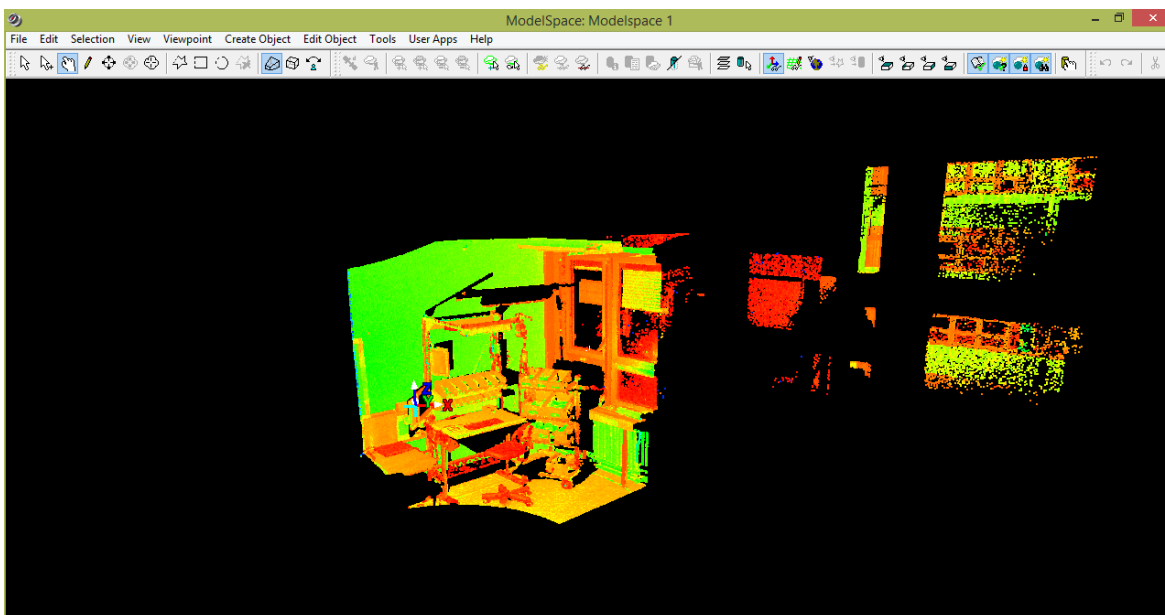


**Obr. 44** Bodové mračno s výskytem rušivého elementu

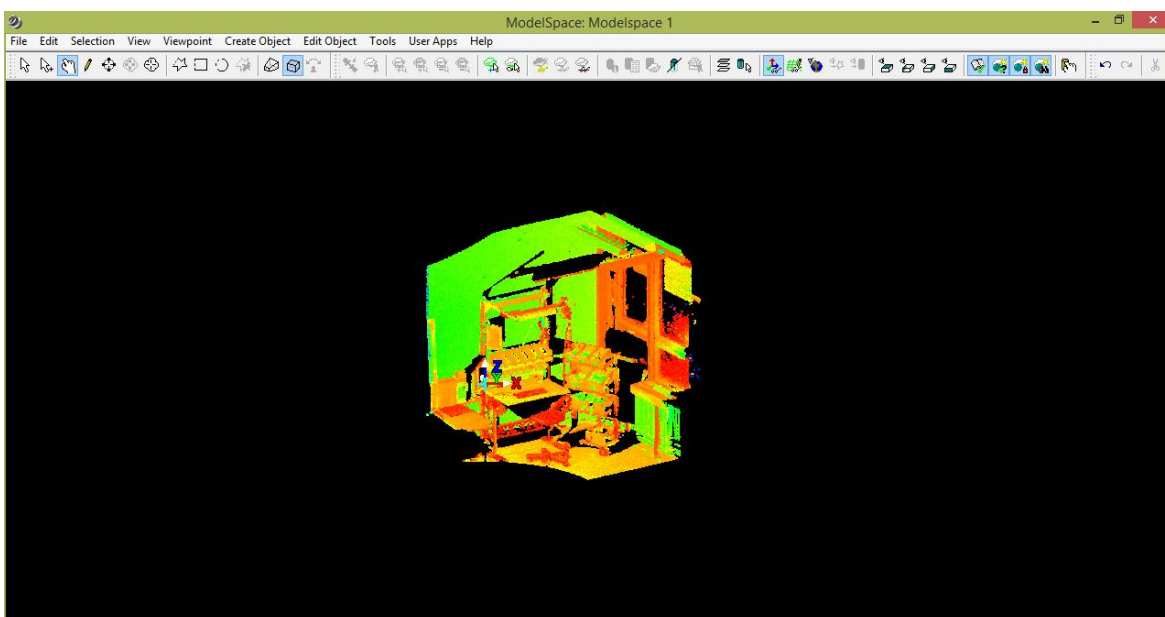
Na tomto obrázku je k povšimnutí několik věcí. Černý kruh v levém dolním rohu představuje nenaskenovaný prostor pod skenerem. Dále můžeme vidět stíny za jednotlivými objekty a především vedle sebe umístěné tenké plátky uprostřed skenu. Tyto plátky zobrazují člověka, nebo jakýkoliv jiný objekt, v pohybu v dráze laseru. Takovéto objekty považujeme za rušivé elementy, které snižují kvalitu skenu a je nutné je odstranit. V softwaru máme klasické nástroje na označování prostoru (polygonové laso, obdélníkový výběr...). Při odstraňování tohoto konkrétního rušení natočíme bodové mračno na pohled shora, dále označíme lasem či jiným výběrem narušenou oblast skenu a vymažeme. Při mazání se často nevyhneme vymazání i užitečné části skenu (například části podlahy), proto je snahou snížit výskyt těchto rušivých vlivů na minimum.

Dále je nutné u všech skenů odstranit nepotřebná mračna bodů, která vznikají například při průchodu paprsku oknem. Nepotřebné body vidíme na Obr. 45, kde je sken ergonomické laboratoře s množstvím bodů v pravé části, které vznikly právě skenováním části budovy za okny. Tyto body rovněž odstraníme stejným způsobem, jako jsme provedli u odstraňování rušení. Požadovaným výsledkem je pak mračno na Obr. 46.





**Obr. 45** Sken ergonomické pracoviště – neočištěný

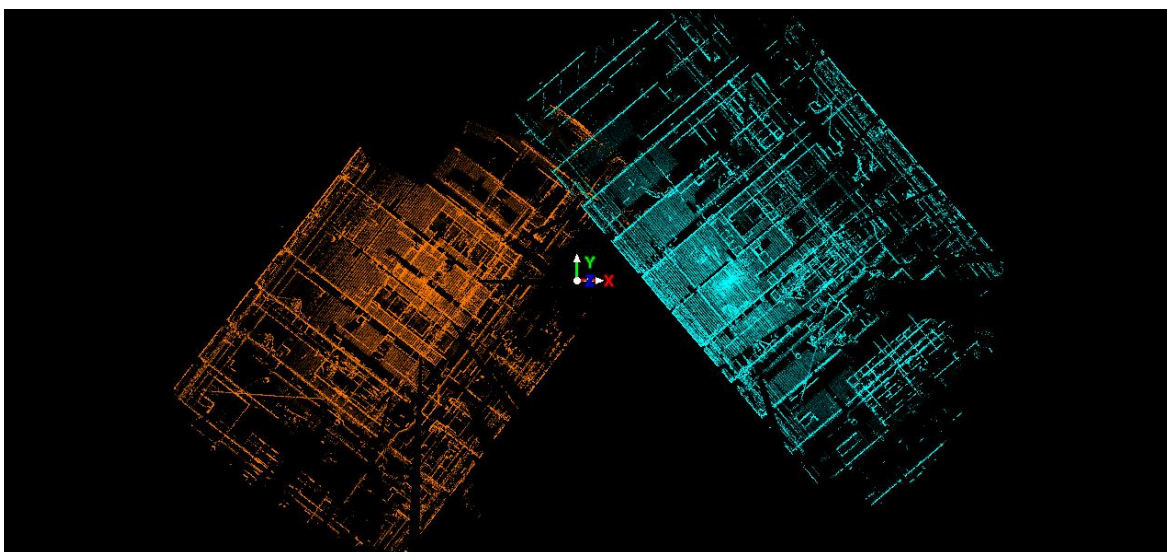


**Obr. 46** Sken ergonomického pracoviště - očištěný

Tímto způsobem musíme projít všechny skeny v projektu, vyčistit je od rušení a převést do Control Space. Doba čištění skenů je závislá na velikosti bodového mračna, jeho složitosti a také na počtu rušivých elementů.

## 7.2.Registrace skenů – Leica Cyclone

Jak bylo uvedeno dříve, registrace skenů je spojení dvou a více skenů do jednoho společného mračna. Registraci lze provést buďto automaticky pokud používáme při skenování terče, nebo vizuálně pro skenování bez terčů, jako je tomu v našem případě. Pro provedení vizuální registrace musíme mít k dispozici alespoň dva očištěné skeny nahrané do Control Space. U těchto skenů zvolíme pevný, se kterým nebude možné manipulovat, a pohyblivý. Příklad takových skenů je na Obr. 47, kde červený sken představuje pevný sken a cílem bude napojit na něj modrý sken.

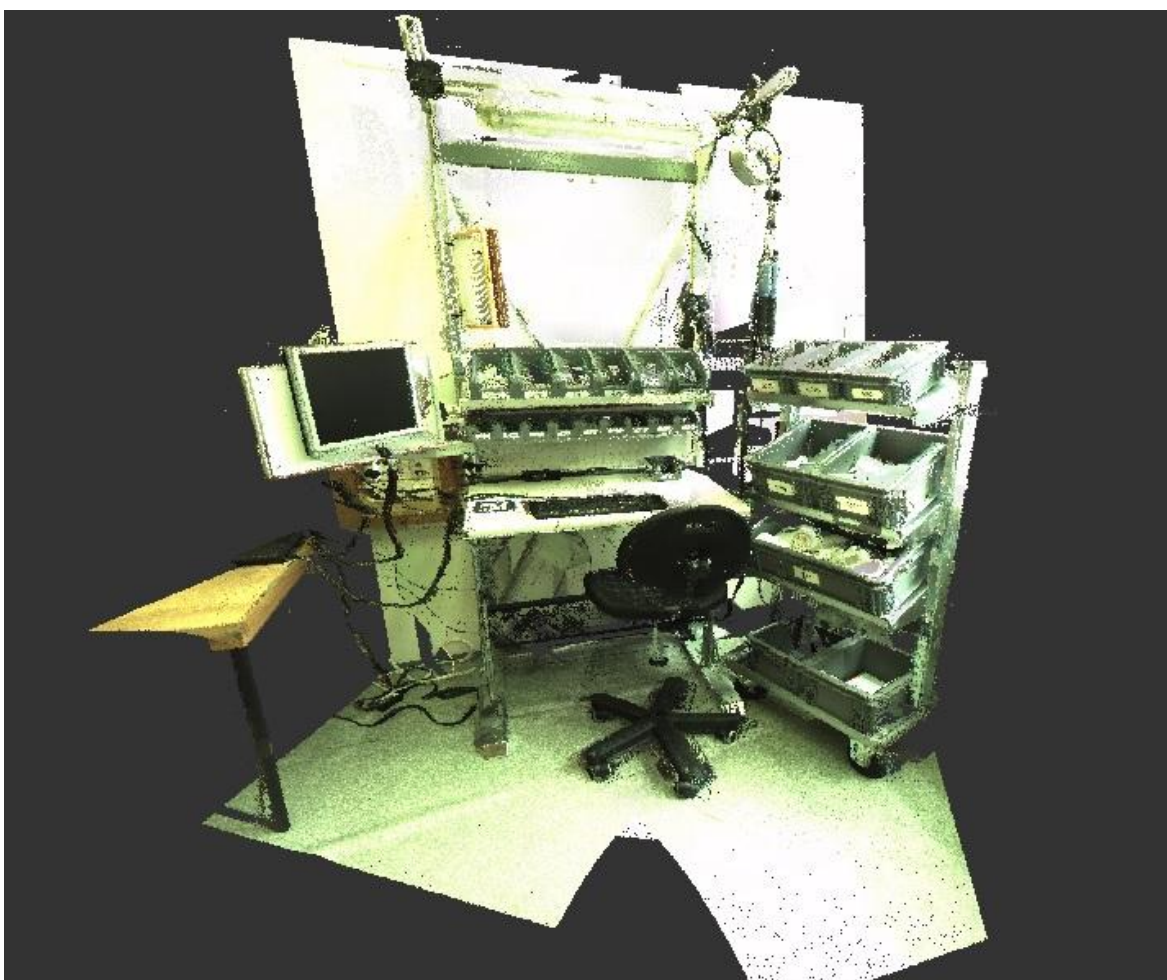


Obr. 47 Cyclone - vizuální registrace

Modrý sken byl přemístěn a natočen tak, aby co nejpřesněji překryl červený sken. Dále je zapotřebí najít společný element obou skenů (část naskenovaného objektu, který se nachází na obou skenech). Tímto elementem mohou být zdi, stroje a zařízení a jakýkoliv jiný tvar společný pro oba skeny. Elementů se nachází na skenech vždy několik, a pokud nalezneme jeden a napojíme jej, můžeme si na ostatních ověřit správnost napojení. Jakmile máme skeny nasazené, SW provede vyhlazení drobných odchylek a skeny spojí. Tento postup opakujeme, dokud nejsou všechny skeny propojeny. Výsledky naší práce jsou na Obr. 48, kde je registrované mračno bodů výrobní haly a na Obr. 49, kde je registrované mračno bodů ergonomického pracoviště. Již nyní můžeme pozorovat rozdíl v kvalitách skenů, kdy hala byla skenována v nejnižší kvalitě a ergonomická laboratoř ve střední kvalitě.



Obr. 48 Skenovaný model výrobní haly – nízké rozlišení



Obr. 49 Skenovaný model ergonomického pracoviště – střední rozlišení

## 8. Proces testování dat

Během tohoto procesu budou testovány možnosti zpracování skenovaných dat v různých softwarech. Na základě zjištěných možností pak budou sestaveny konkrétní způsoby zpracování skenovaných dat do finálního výstupu. Největší důraz je kladen na to, aby nově nalezená metoda byla efektivnější než doposud používané metody. Použitelnost výstupních dat z nové metody by měla být alespoň na takové úrovni, jakou mají výstupy z klasické metody.

Klasickou metodou (dále označovanou jako Metoda 0) je myšlen dosavadní způsob získávání dat a tvorby layoutů. Pořizování dat klasickou metodou probíhá návštěvou výrobní haly, kde se pomocí pásma nebo laserovým dálkoměrem zjišťují potřebné rozměry. Je nutné získat buď stavební dokumentaci haly, nebo vytvořit náskres haly. Dále se měří rozměry jednotlivých pracovišť nebo strojů a jejich vzájemná poloha v hale. Pro tvorbu 3D layoutu je nutné pořízení fotografií všech strojů a také naměření téměř všech důležitých rozměrů. Na základě těchto dat se v SW visTable od základu vytvoří 2D layout. V modelovacích CAD softwarech proběhne vymodelování strojů a zařízení, které nejsou obsaženy v databázi visTable. Tyto stroje se následně nahrají do visTable a vznikne 3D layout.

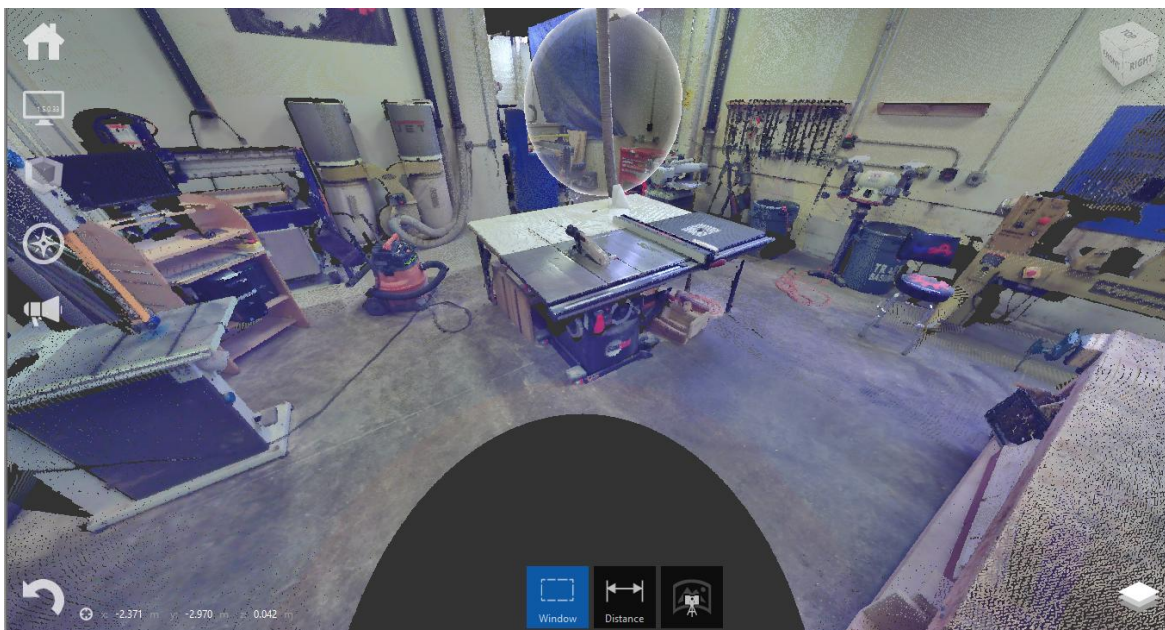
### 8.1. Metoda 1

Hlavním zpracovacím SW metody jsou produkty AutoCAD. Jako jeden z mála dostupných SW dokáže balík Autodesk přímo zpracovávat skenovaná data, čímž se stal prioritním SW pro testování jeho možností. Metoda se nezakládá na jednom programu, ale na soustavě několika programů, ze kterých získáváme různé druhy výstupů.

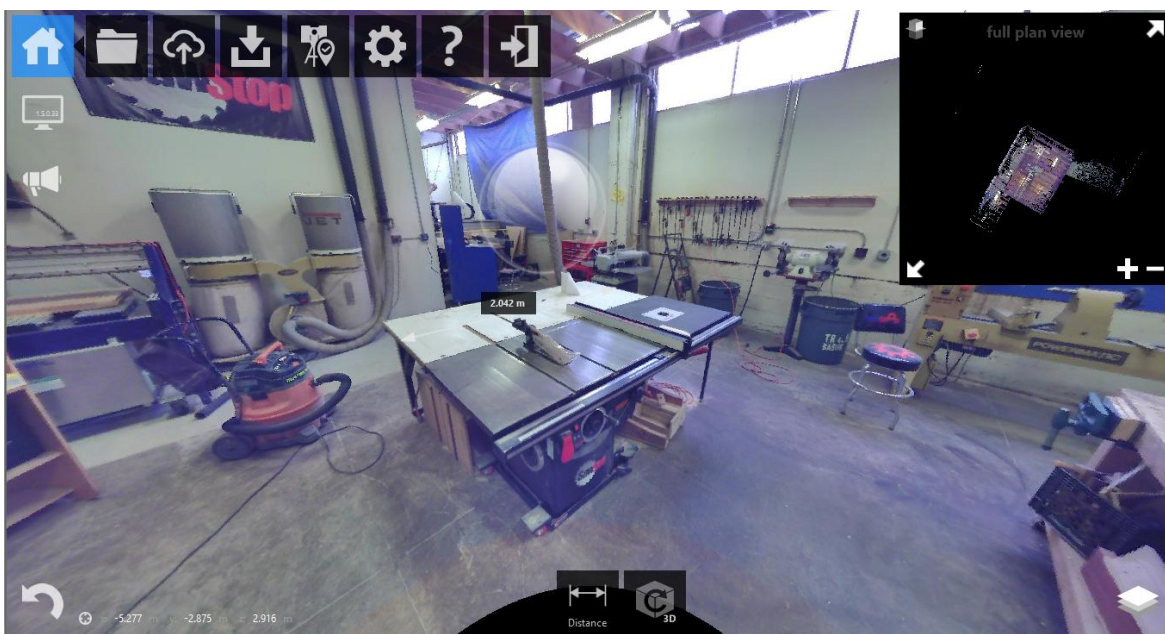
#### 8.1.1. Krok 1 - ReCap

Vstupním SW do jakéhokoliv zpracování mračna bodů v Autodesk SW je ReCap. Do tohoto SW je možné nahrát běžné formáty mračen (PTX, ASCII, FLS, E57, LAS, TXT, XYZ,...) a výstupním formátem jsou pak soubory RCP, které jako jediné lze importovat do ostatních Autodesk SW. ReCap obsahuje základní funkce úpravy dat: ořezávání, zakrytí části mračna, měření vzdáleností apod.. Na Obr. 50 vidíme testovací mračno (dále označováno jako Dílna) ve vysokém rozlišení a na Obr. 51 reálný vyfocený objekt dílny. Vidíme, že vysoké rozlišení bodového mračna má velice blízko k reálnému objektu.





Obr. 50 Bodové mračno dílny



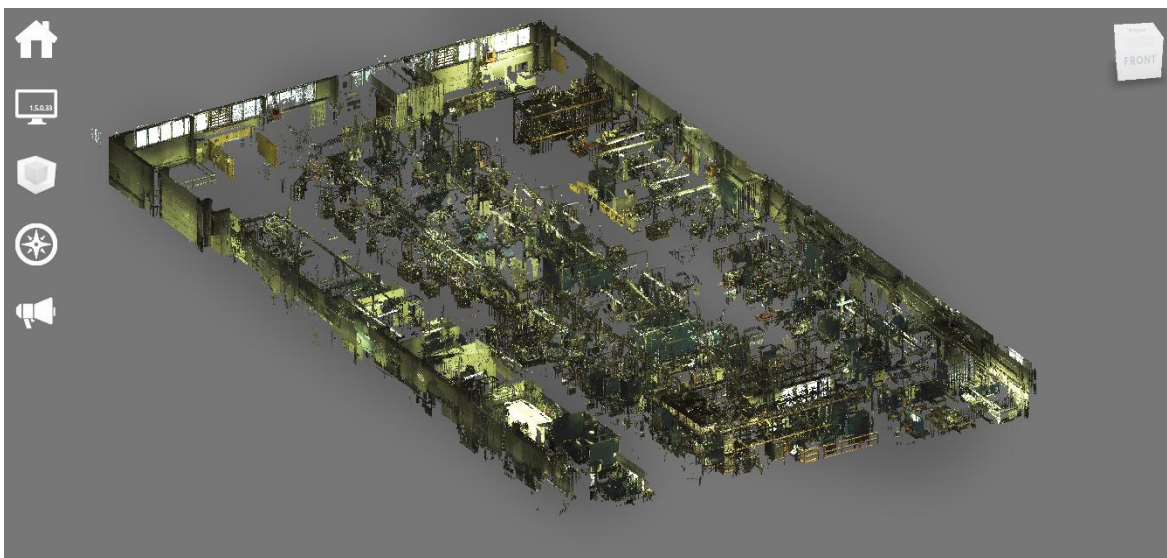
Obr. 51 ReCap - fotografie dílny

Nejužitečnější funkcí ReCap je snadné ořezávání mračen. Ořezávání je stejné jako při čištění dat v Cyclone, tedy mnohoúhelníkové laso nebo obdélník. Ořezáváním můžeme z celkového bodového mračna získat potřebné části pro další zpracování, jelikož v dalších SW není ořezávání jednoduché. Pro náš projekt byla vložena veškerá naše bodová mračna tedy:

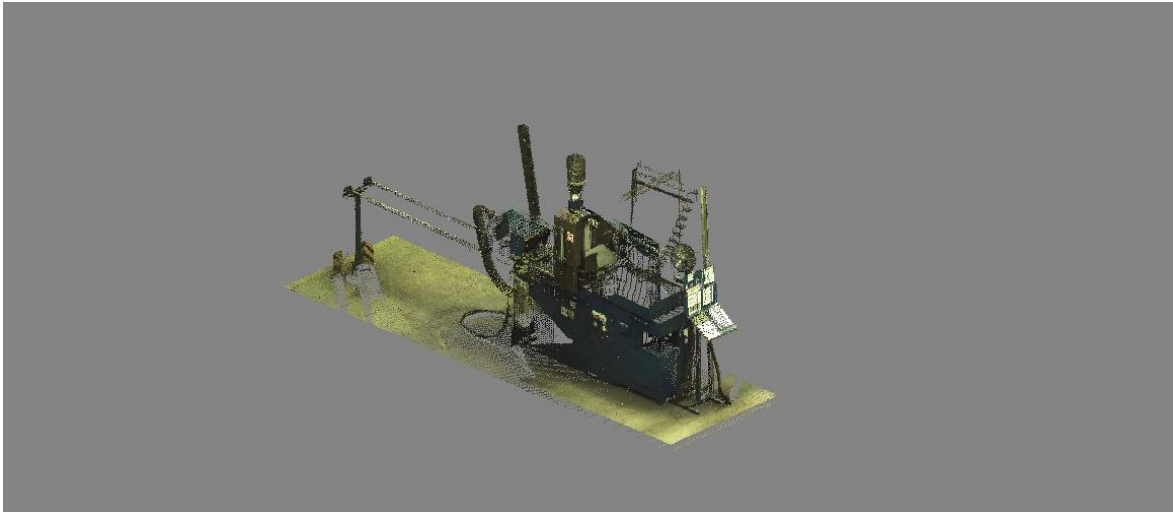
- Bodové mračno výrobní haly
- Bodové mračno ergonomického pracoviště
- Bodové mračno dílny

Bodové mračno výrobní haly bylo zpracováno následujícím způsobem:

- Oříznutí části výrobní haly (z důvodu snížení datové náročnosti)
- Oříznutí podlahy a střechy – tímto vznikl plátek haly viz. Obr. 52.
- Rozdělení modelu na pracoviště – model po předchozí úpravě byl dále rozdělen na jednotlivá pracoviště a stroje. Tímto jsme získali soustavu objektů, které tvoří výrobní halu a bude s nimi dále možné manipulovat. Vyjmutý stroje je na Obr. 53.



**Obr. 52 Zpracovaný model výrobní haly**



**Obr. 53 Stroj vyjmutý ze skenované haly**

Bodové mračno ergonomického pracoviště bylo upraveno následujícím způsobem:

- Ořezání nepodstatných objektů – tímto jsme získaly pouze objekty, které potřebujeme pro následné zpracování pro tvorbu modelu a jako podklad pro import do ergonomického SW (Obr. 54)
- Vyřezání objektů – i zde jsme z celkového mračna získali jednotlivé objekty např. samotný stůl (Obr. 55) a KLT box (Obr. 56)

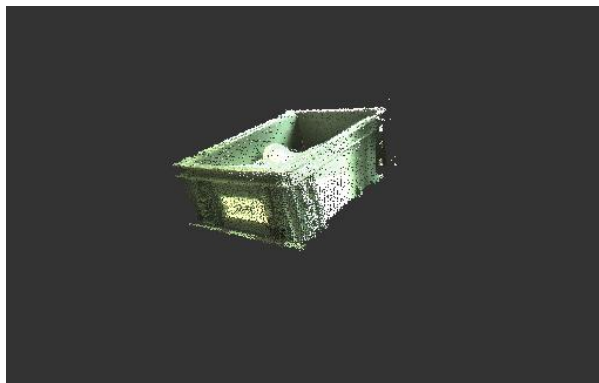


Obr. 54 ReCap - bodové mračno pracoviště



Obr. 55 ReCap - pracovní stůl





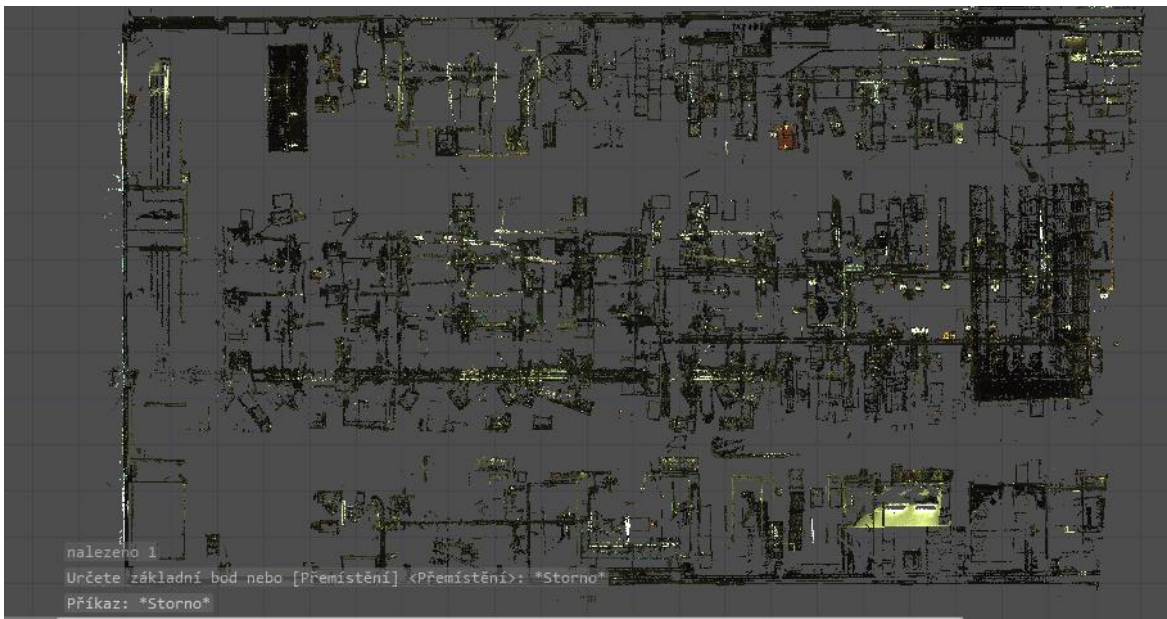
**Obr. 56 ReCap - KLT box**

### **8.1.2. Krok 2 – AutoCAD**

AutoCAD je SW primárně určený pro tvorbu výkresů, tedy i layoutů. V současnosti je mnoho verzí AutoCADu přizpůsobených pro konkrétní skupiny uživatelů – strojní, stavební, elektrotechničtí inženýři. Navíc současné verze AutoCADu umějí poměrně solidně zpracovávat bodová mračna.

#### **a) Vložení bodového mračna**

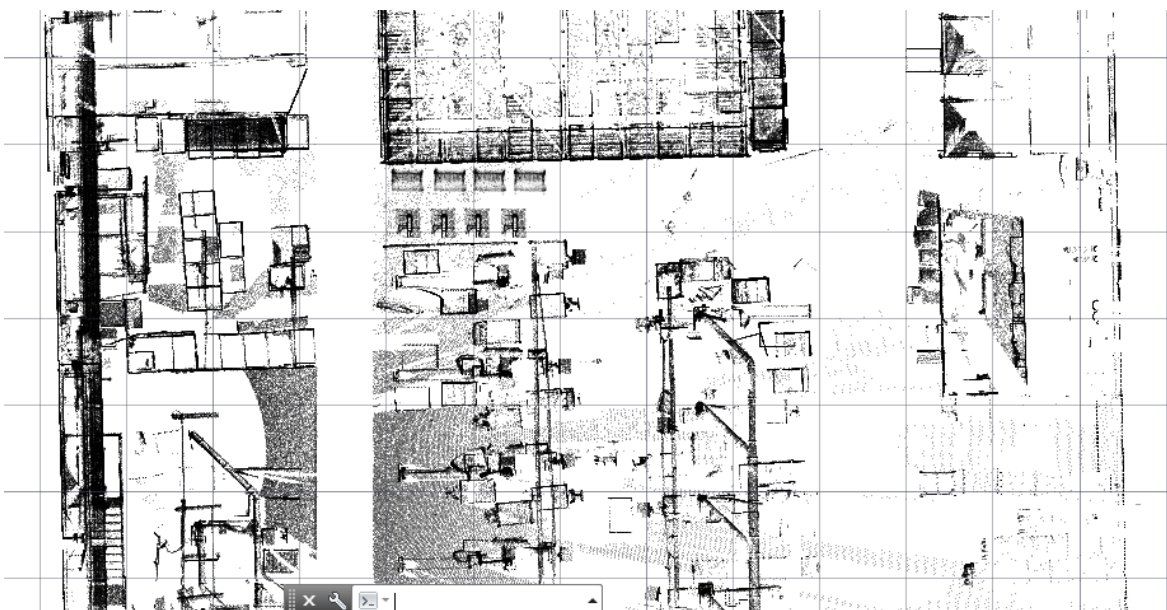
Na úvod práce s bodovými mračky je nutné zmínit důležitý poznatek. Objekty bodových mračen se chovají zcela specificky, ne jako klasické objekty vkládané do SW. Pokud bychom vložili do ACAD vymodelovaný model haly, bude se chovat jako objekt modelu, bude pracovat s hranami či plochami objektu. Naproti tomu bodové mračno není ve skutečnosti jeden objekt, ale miliony malých objektů (bodů) a podle toho s bodovým mračnem jednotlivé SW pracují. Můžeme tedy například vytvořit obdélník propojením 4 bodů mračna, ale nemůžeme ho vytvořit na základě plochy, kterou tyto body ohraničují. Na Obr. 57 vidíme horní pohled na plátek haly, který jsme vložili do ACAD prostředí.



Obr. 57 AutoCAD - horní pohled na bodové mračno haly

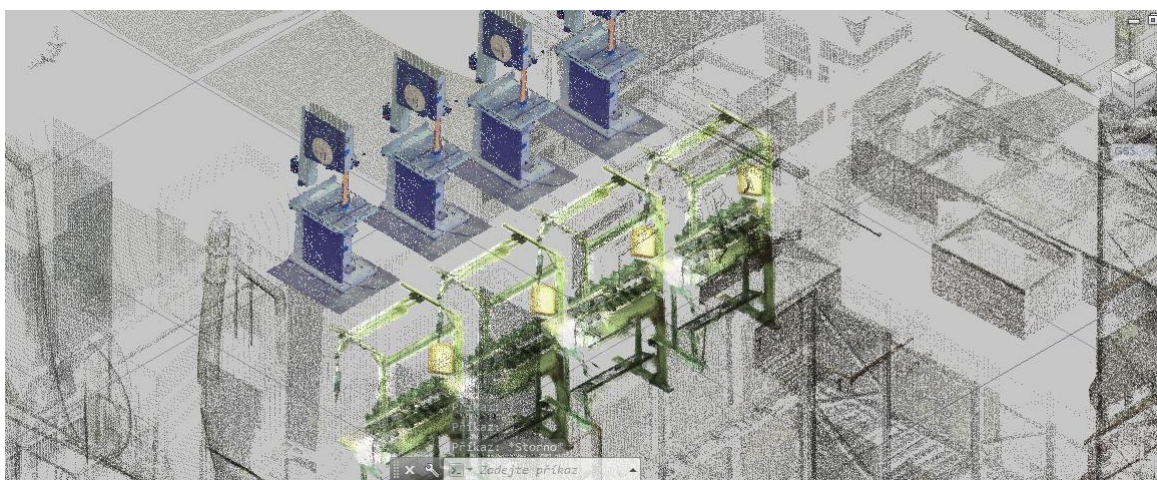
#### b) Tvorba layoutu

Bodové mračno lze do AutoCADu přímo nahrát, prozatím však neexistuje funkce nebo modul, který mi automaticky vygeneroval 2D výkres na základě bodového mračna. Vhodným nastavením barev uživatelského prostředí a barev bodového mračna můžeme získat verzi layoutu na Obr. 58.



Obr. 58 2D layout bodového mračna v AutoCAD

Takto získaný layout však vypovídá pouze o současném stavu bez možnosti jakýchkoliv změn. Pokud chceme vytvořit layout, ve kterém je možné přemísťovat jednotlivé části, je potřeba nahrát do AutoCADu jednotlivé části haly, které jsme vytvořili v předchozím kroku v SW ReCap a z těchto částí celou výrobní halu poskládat. Do takto vytvořeného layoutu je možné vkládat i ostatní bodová mračna, jako na Obr. 59, kde jsme do layoutu výrobní haly vložili ergonomický stůl a vrtačku. Na obrázku můžeme i porovnat rozdíl kvality jednotlivých skenů. Základní hala je v nejnižším rozlišení, stůl a vrtačka jsou pak ve vysokém rozlišení. Všechna vložená bodová mračna můžeme zobrazit jak ve 2D tak ve 3D. Nemůžeme však vkládat modely vytvořené v Inventor nebo jiném modelovacím SW. Ty se zde zobrazí pouze jako 2D náčrt.



Obr. 59 Vkládání jiných bodových mračen do skenu výrobní haly

### c) Možnost analýzy layoutu

Layout vytvořený tímto způsobem lze však využít pouze v AutoCADu. Samotný AutoCAD pak neobsahuje žádné užitečné funkce pro analýzu layoutu. Jednou z možností, jak layout analyzovat je nainstalování rozšiřujícího modulu Factory Design, který rozšíří AutoCAD o následující funkce: tvorba materiálového toku, analýza materiálového toku, možnost vkládání 2D komponent strojů do layoutu. Zobrazení materiálového toku vidíme na Obr. 60. Jediné analytické výstupy, které tímto způsobem získáme, jsou délka materiálového toku, celkový čas procesu, náklady na dopravu a celkové náklady. Ostatní analýzy dostupné v klasické metodě, jako jsou I-D diagram, vytížení pracovišť, zobrazení intenzity toku však AutoCAD neposkytuje. Navíc zobrazení materiálových toků je celkem nepřehledné. Vypovídací schopnost tohoto výstupu je tedy poměrně nízká ve srovnání s klasickou metodou.





**Obr. 60 AutoCAD - rozšíření Factory Design - materiálový tok**

Druhou možností, jak layout podrobit analýzám je jeho převedení do SW visTable, který obsahuje mnohem více nástrojů pro analýzu. Tento SW bodová mračna nezpracovává, je zde však možnost importu DWG nebo obrázku jako podkladu. Při pokusu importovat DWG soubor s bodovým mračnem se nahrál pouze prázdný soubor bez skenovaného layoutu. Při pokusu exportovat výkres z AutoCADu do obrázku a následně nahrání tohoto obrázku do visTable jsme zjistili, že obrázek je vygenerovaný v příliš nízké kvalitě a jako podklad nepoužitelný. Navíc i při úspěšném importu DWG nebo obrázku do visTable by tyto importy sloužili jako nemanipulovatelný podklad.

V našem případě bylo zjištěno, že pořízená skenovaná data nemají potřebnou kvalitu pro vytvoření kompletního layoutu. Některé části haly a některé stroje nebyly vůbec naskenovány. Chybně jsme tedy stanovili skenovací pozice a layout není kompletní. Pro pořízení kvalitního layoutu by bylo zapotřebí rozšířit skenování o několik skenovacích pozic.

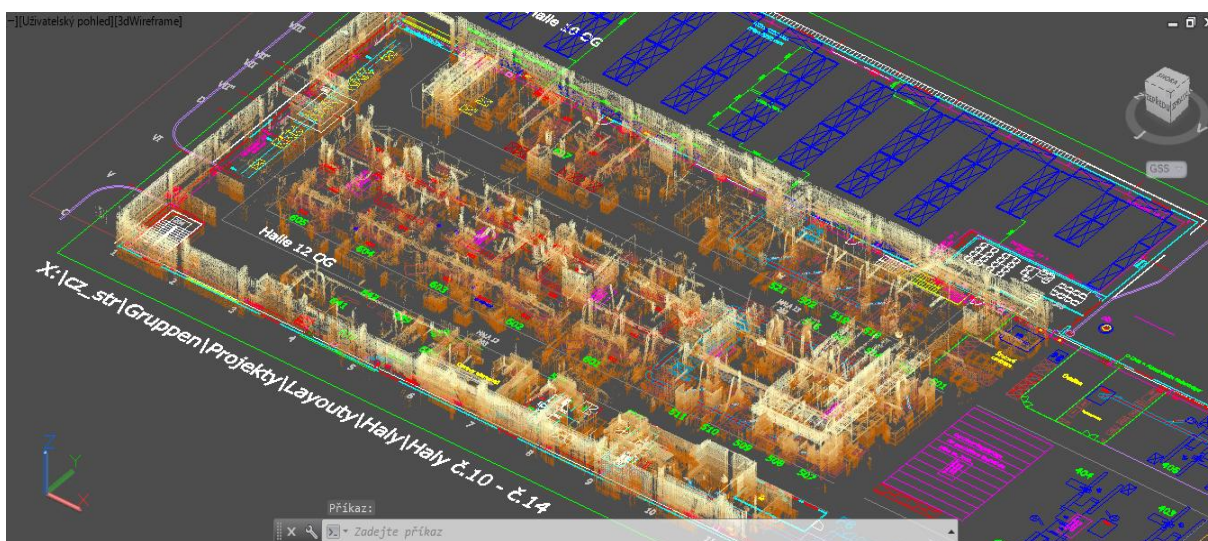
#### **d) Ověření layoutu**

Užitečnou možností využití bodového mračna v AutoCADu je ověření layoutu. Ověření využijeme v případě, že výrobní podnik disponuje layoutem, ale během určité doby mohlo ve výrobě dojít ke změnám, které nebyly do layoutu zaznamenány. Dále je také možné ověřit správné rozměry a rozmístění layoutu. Zde jsme využili skenu výrobní haly a layoutu, který firma aktuálně používá. Do ACADu byl nejprve vložen DWG výkres layoutu a na něj bylo postaveno bodové mračno viz. Obr. 61. Kvůli názornosti bylo

zvoleno přebarvení bodového mračna do zřetelnějších barev. Opět by bylo vhodnější použití kvalitnějšího mračna. Pro ověření layoutu jsou zásadní dvě pravidla:

- Výkres i bodové mračno musí být ve stejném měřítku a jednotkách
- Bodové mračno musí být správné (bezchybné skenování a správná registrace mračen)

Při pohledu shora můžeme kontrolovat okrajové rozměry haly a objektů uvnitř, při 3D pohledu můžeme kontrolovat, zda se zde nachází opravdu zařízení uvedené na výkrese, případně měřit výškové rozměry. Podmínkou jsou ovšem, jak bylo zmíněno, kvalitní data.



Obr. 61 AutoCAD - ověřování layoutů podle bodového mračna

### 8.1.3. Krok 3 - Inventor

Dalším SW z řady Autodesk podporující práci s bodovými mračny je Inventor. Patří mezi jedny z nejpoužívanějších modelovacích nástrojů pro tvorbu strojních součástí a sestav. Potenciální využití při tvorbě layoutů je 3D zobrazení layoutu.

#### a) Vložení bodového mračna do Inventoru

Do Inventoru se importuje bodové mračno stejným způsobem jako do ACADu, tedy nahráním souboru RCP. Jak bylo uvedeno dříve, bodové mračno se nechová jako objekt, tudíž se v Inventoru nechová jako vymodelovaný objekt. Jediné operace s mračnem jsou otáčení, přesouvání, ořezávání obdélníkem a možnost vytvořit na mračnu plochu nebo bod. Mračna můžeme nahrávat do jiných bodových mračen nebo 3D modelů výroby. Pro



ilustraci je na Obr. 62 ukázán rozdíl mezi bodovým mračnem ergonomického pracoviště a modelem tohoto pracoviště vytvořeným na základě naměřených rozměrů v Inventoru.



Obr. 62 Bodové mračno pracoviště - vlevo, Model pracoviště v Inventoru – vpravo

### b) Sestavení 3D layoutu

Jednotlivé části bodového mračna, získané v prvním kroku, je možné v Inventoru převést na soubor formátu IPT (součást Inventor) a následným poskládáním těchto částí do sestavy vytvořit 3D layout haly. V takto sestaveném 3D modelu lze přesouvat jednotlivé objekty nebo je možné do modelu vkládat nové, vymodelované objekty, jako vidíme na Obr. 63, kdy byly do základního skenu výrobní haly vloženy modely dopravníku a robota.

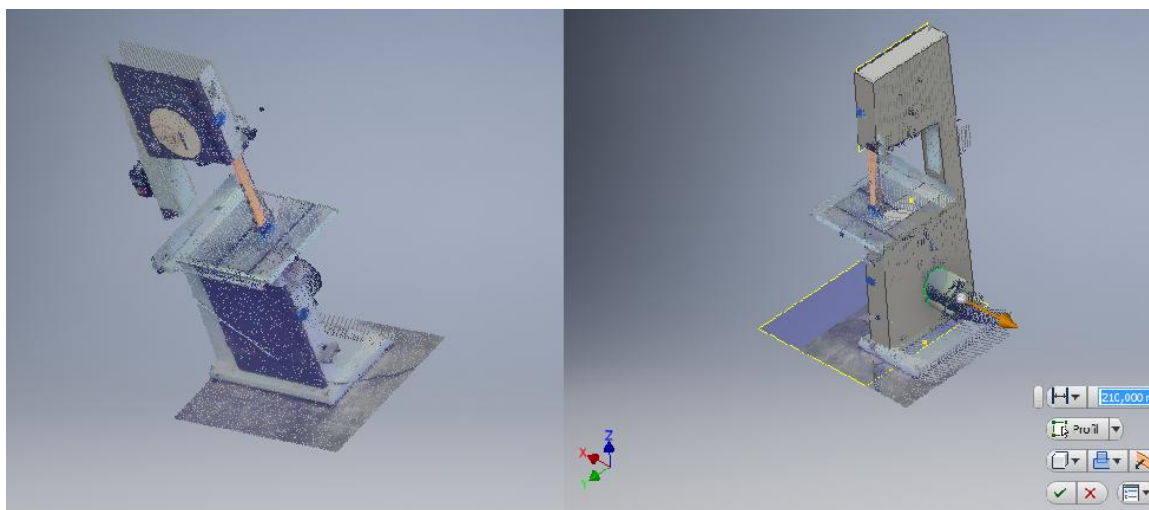


Obr. 63 Inventor - vkládání nových objektů do bodového mračna

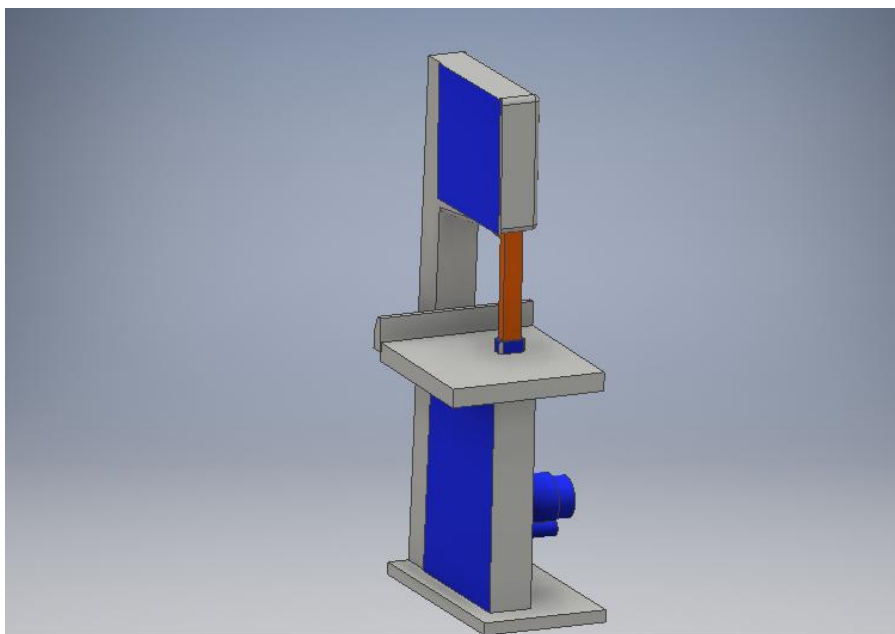
Díky přesnosti bodového mračna můžeme zjistit, zda nedojde při zavedení nových zařízení ke kolizi se stávajícími objekty (např. kolize otočných ramen robotů, kolize nového výrobku při jeho průtoku výrobou, nedostatek místa v novém skladu pro manipulaci s materiálem,...).

### c) Modelování objektů podle bodového mračna

Přestože není možné bodové mračno použít přímo jako modely, lze je využít jako podkladu pro tvorbu modelů. Inventor dokáže vygenerovat rovinu z většího množství bodů, které taktéž leží v jedné rovině. Na základě takto vytvořené roviny je možné provést první náčrt tvaru modelu. Na Obr. 64 vlevo je bodové mračno stroje získaného z dílny. Na první pohled je vidět velké množství potenciálních rovin pro tvorbu prvního náčrtu a modelování. Snahou je zvolit takovou rovinu, u které na jeden náčrt vytvoříme co největší objem modelu. V tomto případě byla zvolena jako první rovina boční plocha stroje (modrá). V této rovině byla podle mračna obkreslena geometrie stroje z bočního pohledu. Z této roviny jsme provedli vytažení (Obr. 64 vpravo) opět podle bodového mračna. Tím byl vytvořen základní model, díky kterému je k dispozici další množství rovin pro další modelování. Výsledek modelování je na Obr. 65. Po ověření rozměrů byla stanovena průměrná odchylka rozměrů +/- 2cm. Velikost odchylky je závislá na kvalitě bodového mračna. Přesnost bodových mračen je přibližně 2mm, proto je modelování podle bodového mračna využitelné při tvorbě modelů do layoutů, avšak nepoužitelné při tvorbě přesných modelů a technických dokumentací.



Obr. 64 Inventor - bodové mračno stroje - vlevo; tvorba 3D modelu podle bodového mračna – vpravo



Obr. 65 Inventor - výsledný model stroje

#### 8.1.4. Krok 4 – další využití bodového mračna a modelů

V tomto bodě bylo zjištěno, jak vytvořit 2D a 3D layout pomocí bodového mračna v Autodesk softwarech. Během testování byla ještě testována další potenciální využití získaných výstupů.

##### a) Využití bodového mračna a modelů v ergonomických softwarech

Současná verze ergonomických SW (Tecnomatix Jack, Delmia Human) nepodporuje vkládání bodových mračen a jejich následnou ergonomickou analýzu. Jednou z možností, jak využít naskenovaných dat je tvorba modelu podle bodového mračna jak bylo popsáno v předchozí kapitole. Na základě bodového mračna byl vytvořen i stůl ergonomického pracoviště. Výsledný model je na Obr. 66. U ergonomických analýz je hlavní prioritou zachování skutečných rozměrů modelů, především pak rozměrů, které ovlivňují výsledky analýzy. V případě ergonomického pracoviště se jedná o výšku podpěrky nohou, výšku stolní desky, výšku políček pro boxy se součástkami, umístění šroubováku, dále šířky a hloubky stolu. Po porovnání rozměrů při měření pracoviště a při měření vytvořeného modelu byly všechny rozměry shodné s odchylkami do 5cm. Velké odchylky vznikaly z důvodu nepřesného skenování některých částí pracoviště.





**Obr. 66 Inventor - model ergonomického pracoviště**

Druhou možností je složité převedení bodového mračna na objekt. Převedení na objekt však vyžaduje vysoké rozlišení bodového mračna, minimum zrnitosti a celkově vysokou kvalitu skenu. Převedením na objekt pak získáme objekt podobných tvarů jako je reálný model. Rozměry zůstanou zachovány, avšak kvalita modelu silně klesne. Na Obr. 67 vidíme převedení bodového mračna ergonomického stolu na model, který je následně možné nahrát do SW Jack.

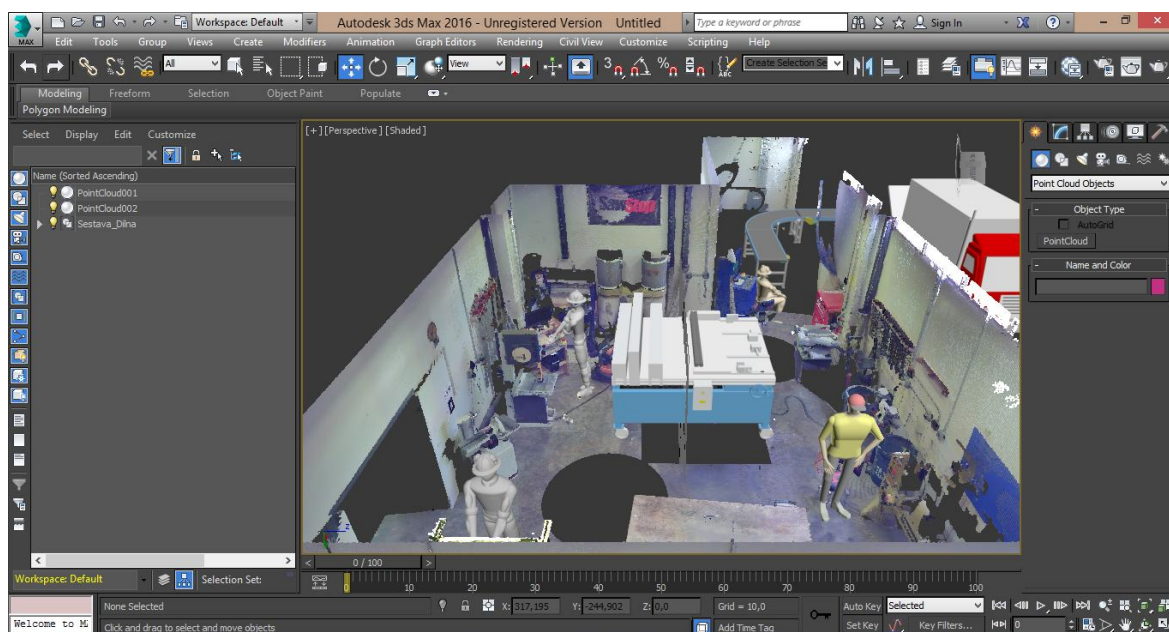


**Obr. 67 CloudCompare – model, který je možné importovat do SW Jack**

## b) Využití bodového mračna pro animace a simulace

Další využití bodového mračna při modelování výroby pomocí SW Autodesk bylo zjištěno v SW 3Ds Max Design. Tento SW je používán pro prostorové modelování, renderování a animace scén. Do prostředí programu je možné importovat jak bodové mračno, tak 3D modely.

Hlavním nástrojem při tvoření animace je časová osa viz. Obr. 68 spodní část. Při jejím nastavení na čas  $t=0$  je scéna ve výchozím stavu. Pokud posuneme časovou osu na  $t_1 > t_0$  a zároveň posuneme, otočíme nebo jinak změníme vložené modely, např. posunutí pracovníka z bodu A do bodu B, vznikne animace, kdy se pracovník v rozmezí časů 0 a 1 přesune z bodu A do bodu B. V jedné časové události můžeme změnit více objektů. Lze nastavit i automatické zaznamenávání změny scény, kdy se na časové ose automaticky vygenerují časy, kdy došlo k jakékoliv změně scény. Tímto způsobem můžeme simulovat například průběh výroby určitého výrobku či chod celé výroby. Jedná se však pouze o simulaci animační, kdy nejsou zadávány žádné vstupní hodnoty a ani nejsou generovány výstupní hodnoty jako je tomu např. u SW Plant Simulation.



Obr. 68 3Ds Max design - prostředí SW a vložený model dílny

## 8.2. Metoda 2

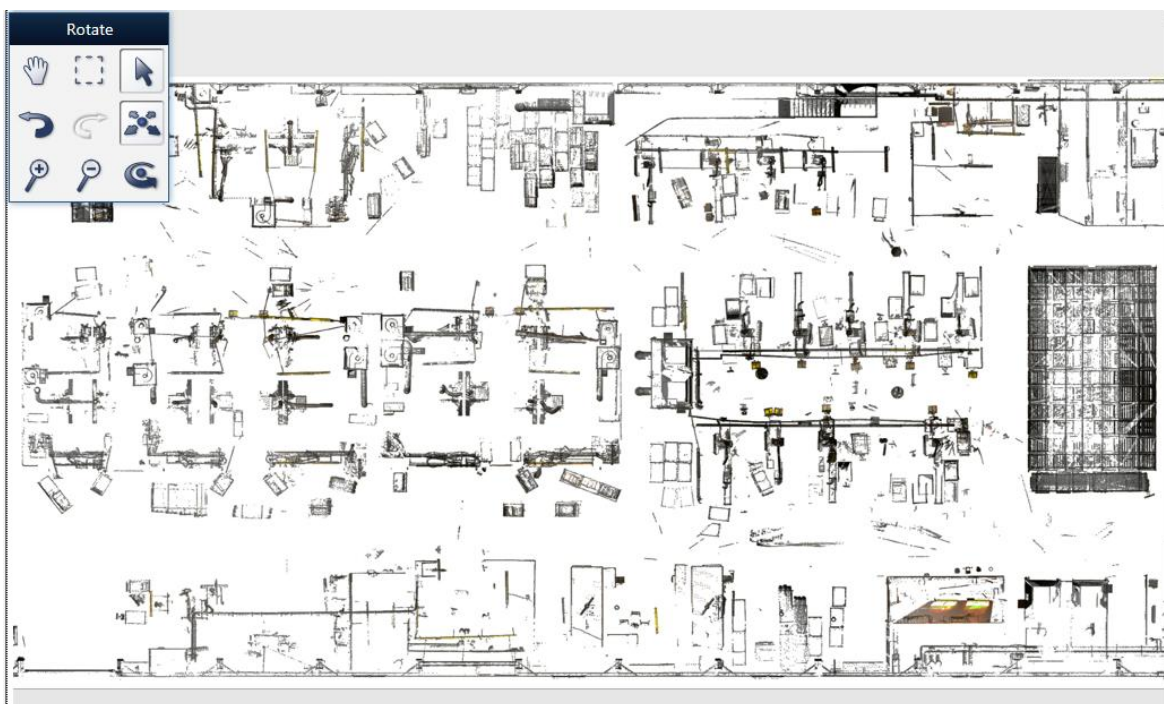
Z důvodu nízké vypovídací schopnosti layoutu vytvořeného metodou 1 bylo nutné prozkoumat jiný způsob tvorby 2D layout, který bude mít minimálně takové vypovídací schopnosti, jako klasická metoda. Jelikož požadované výstupy získáme pouze ze SW visTable, bylo hlavním cílem nové metody převedení skenovaných dat do SW visTable.

### 8.2.1. Krok 1 – CloudSlicer

Řešením problému převodu dat do visTable je algoritmus CloudSlicer. Jedná se o speciální algoritmus, který převádí soubor bodového mračna do obrázku ortografické projekce mračna bodů. Tento algoritmus pracuje na podobném principu, jako při úpravě dat v první metodě, tedy vytvoří z bodového mračna plátek, který lze následně použít jako podklad. Výstupní obrázek z tohoto algoritmu je vysoce kvalitní, zachovává rozměry a je možné jej dále upravovat.

[14]

Na Obr. 69 vidíme výstup z algoritmu pro skenovanou halu. Tento obrázek můžeme ponechat bez úprav, pokud bychom chtěli pouze layout současného stavu. V případě, že chceme rozmístění optimalizovat, nebo provádět v něm změny, v jakémkoli grafickém editoru rozdělíme obrázek na požadované díly (na jednotlivá pracoviště nebo na jednotlivé stroje).



Obr. 69 Exportovaný layout z algoritmu CloudSlicer

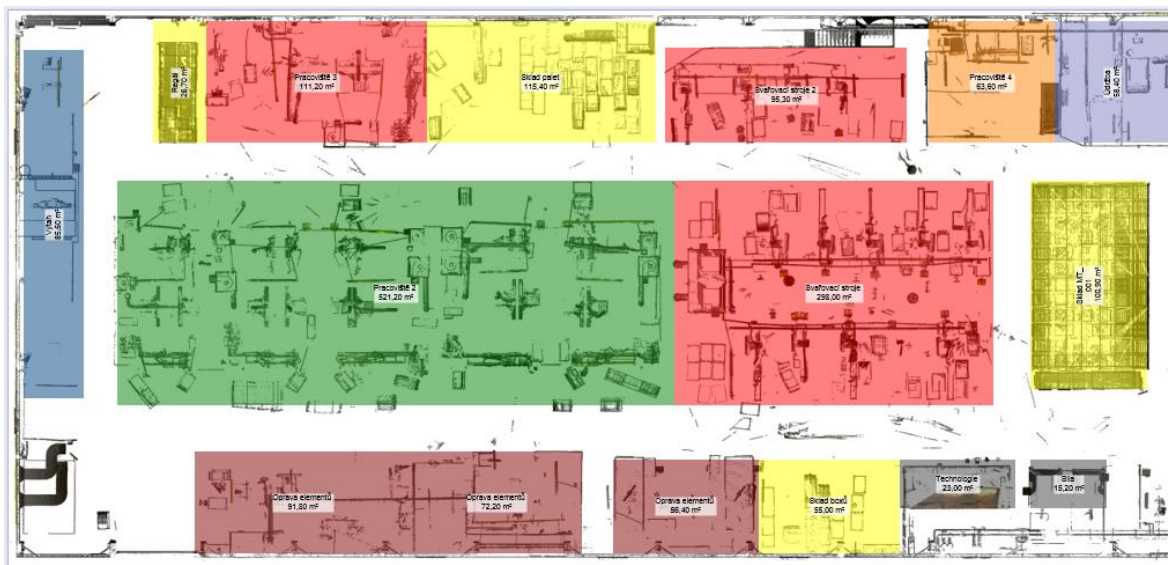
### 8.2.2. Krok 2 - visTable

Jakmile jsou data připravena (exportovaný layout celý nebo rozdělený), je možné importovat je do SW visTable jako podklad přímo, nebo sestavit z rozdělených dílů. Velikost plochy layoutu se nastaví na rozměry obvodu layoutu, v našem případě 36x70 metrů. Vložený obrázek se rovněž zarovná na tyto rozměry. Tímto krokem byl získán 2D

layout současného stavu s přesností na několik milimetrů a s reálným zobrazením objektů, které ovšem záleží na kvalitě pořízeného skenu.

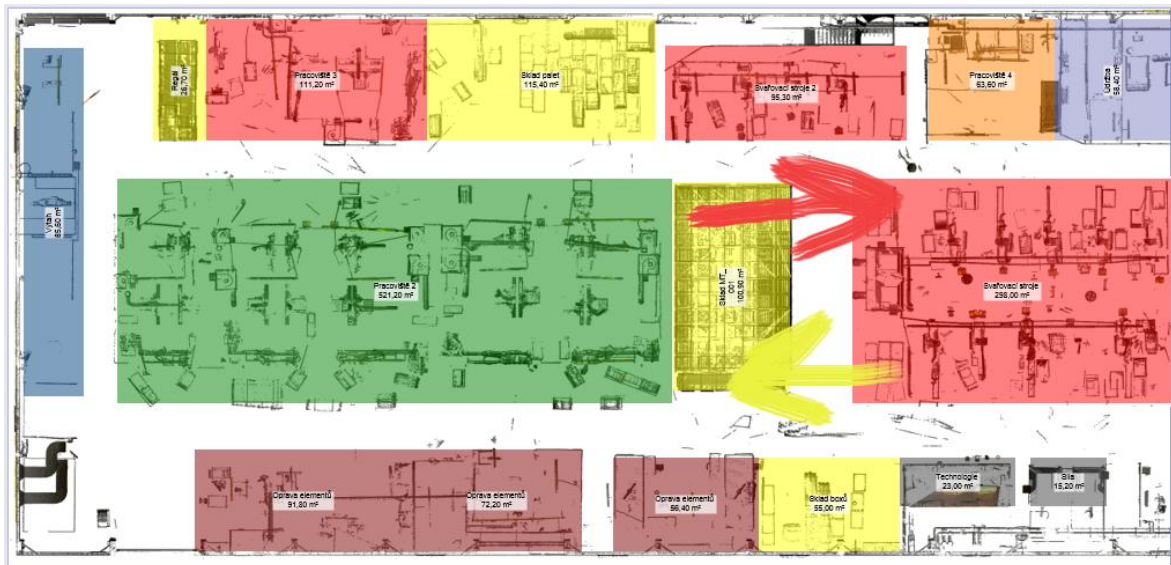
### a) Tvorba 2D layoutu

Samotný podklad slouží však pouze pro představu rozmístění současného stavu. Aby bylo možné provést analýzy (materiálové toky, I-D diagram,...), je nutné layoutu rozšířit o visTable prvky. Pokud plánujeme provádět v layoutu změny, vložíme na připravený layout části obrázku, které byly pořízeny v předchozí části, ať už jsou to celá pracoviště nebo stroje. Dalším krokem je překrytí těchto částí layoutu aktivními prvky visTable. Nejlepšími prvky jsou barevné plochy, u kterých je možné nastavit průhlednost a prvky layoutu tak zůstávají zobrazené. Tímto krokem byl získán layout na Obr. 70. Na Obr. 71 je pak zobrazena možná manipulace s částmi layoutu.



Obr. 70 visTable - blokový layout





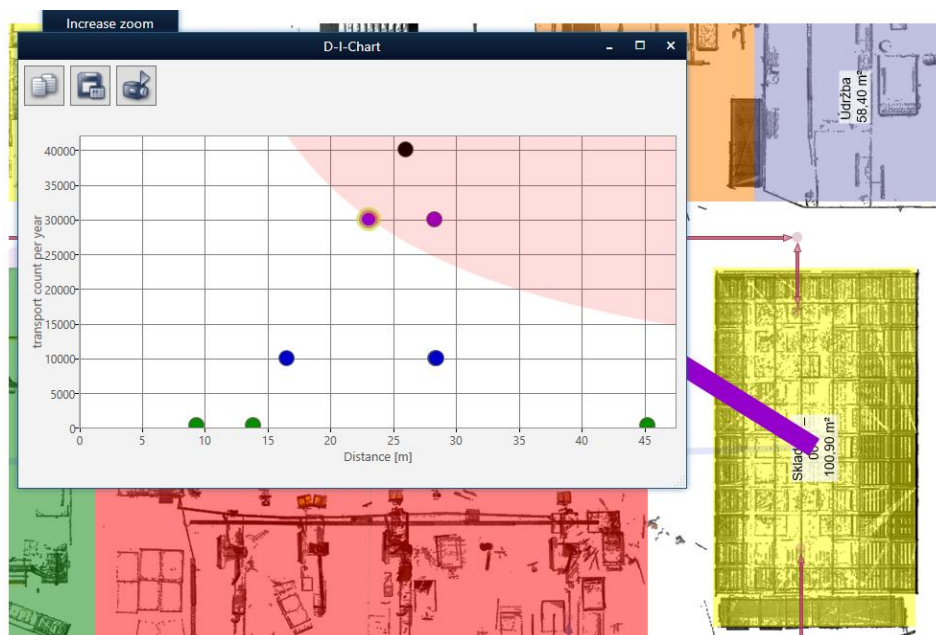
Obr. 71 visTable - manipulace s objekty

### b) Možnost analýzy layoutu

V této fázi je možné provádět analýzy a optimalizace layoutu. Důležitou funkcí visTable je tvorba materiálových toků, kdy je do layoutu graficky zobrazen směr a intenzita pohybu materiálu a výrobků po hale. V současné verzi visTable 2.2 je vytvoření toku materiálu automatické na základě zadání procesu. Zobrazení toku materiálu je na Obr. 72. Další analytickou funkcí visTable je I-D diagram viz Obr. 73. Tento diagram analyzuje efektivitu rozmístění pracovišť v závislosti na intenzitě materiálového toku. Vodorovná osa představuje délku materiálového toku, svislá osa pak přepravované množství materiálu za jednotku čas. V grafu je pak znázorněna exponenciála. Optimálním stavem je stav, kdy jednotlivé body reprezentující jednotlivá pracoviště leží na této křivce. Cíle optimalizace je navrhnout takové rozmístění pracovišť, aby se co nejvíce bodů co nejvíce přiblížilo této křivce.



Obr. 72 visTable - tok materiálu

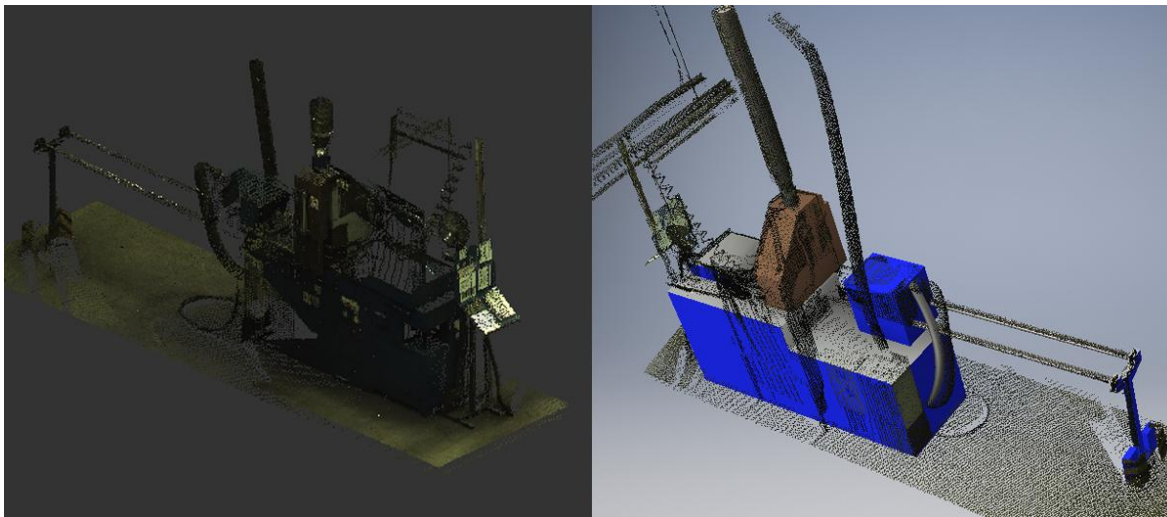


Obr. 73 visTable - I-D diagram

### 8.2.3. Krok 3 – tvorba 3D layoutu

SW visTable nedokáže bodová mračna nahrát a ani zpracovávat. Pokud bychom chtěli vytvořit 3D model layout pro SW visTable, museli bychom jednotlivé objekty vymodelovat podle celkového bodového mračna jako je tomu v předchozí kapitole a tyto

modely pak importovat do visTable. Jak by probíhalo modelování stroje podle bodového mračna získaného ze skenu haly je na Obr. 74.



**Obr. 74** Bodové mračno stroje z výroby - vlevo; Model stroje vytvořený na základě bodového mračna - vpravo

Druhou možností tvorby 3D layoutu je použít postup jako v metodě 1, tedy import částí skenované haly, jejich sestavení do 3D modelu a následné úpravy či vkládání nových modelů. Rovněž animace a simulace výroby by probíhala jako v metodě 1.



## 9. Hodnocení a porovnání metod

Nyní jsou k dispozici veškerá data potřebná pro hodnocení a porovnání jednotlivých metod modelování výroby. Některé hodnoty byly zjištěny při sledování praktické části práce, některé byly odvozeny či byly výsledkem rešerše a některé byly pořízeny na základě konzultací s odborníky.

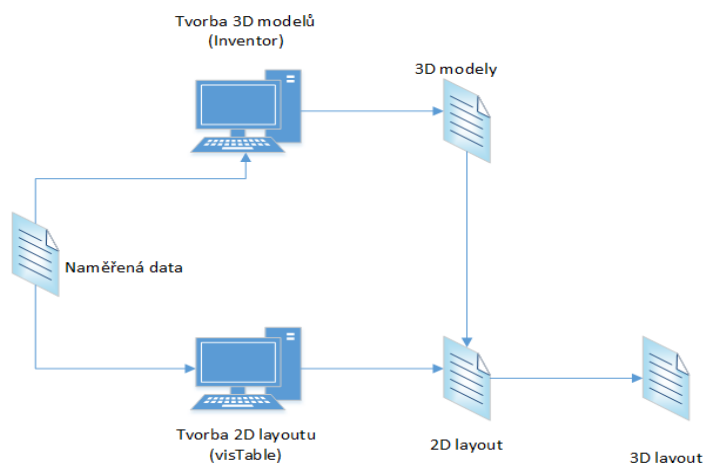
Do hodnocení bylo zahrnuto 5 metod. Metoda klasická, která představuje doposud používaný způsob modelování výroby, a nová metoda 1 a metoda 2. Tyto dvě nové metody byly navíc hodnoceny při použití skenovacího zařízení Leica C5 a při potenciálním použití výkonnějšího zařízení Leica C10.

### 9.1. Schéma hodnocených metod

Na následujících obrázcích vidíme schémata jednotlivých metod, které byly hodnoceny. Tato schémata znázorňují tok různých dílčích souborů různými SW, ve kterých se zpracovávají. Finálními výstupy jsou poté 2D a 3D layout.

#### a) Metoda 0 – klasická

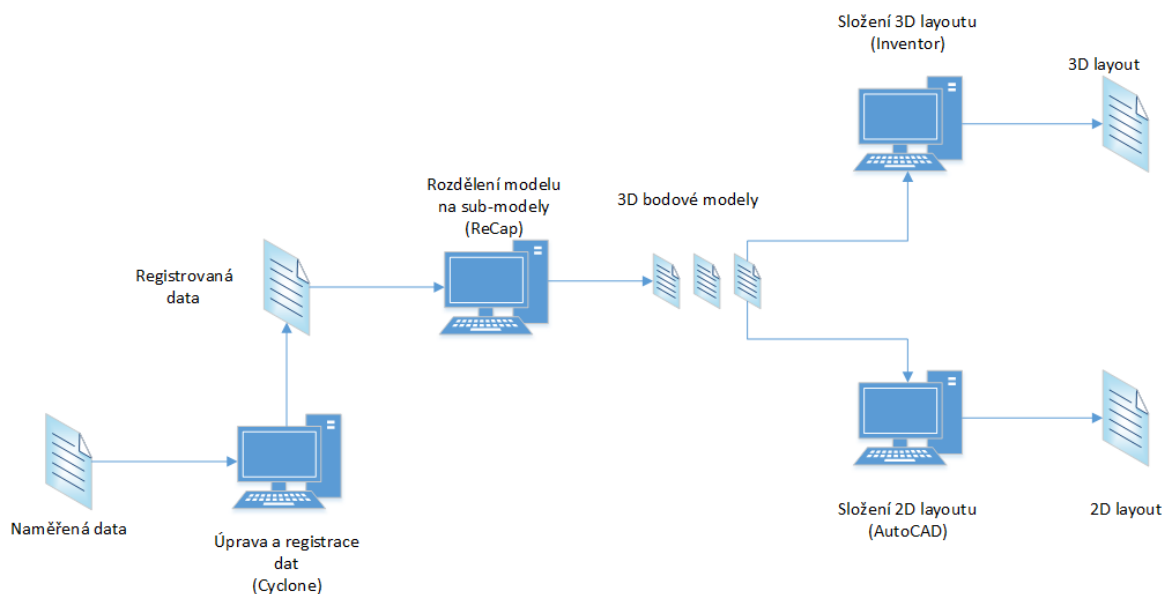
Na Obr. 75 je schéma klasické metody, která je označována jako metoda 0. Naměřená vstupní data představují nákresy a fotografie výrobní haly a také rozměry naměřené buď laserovým dálkoměrem, nebo pomocí pásma. Tato data se následně použijí k tvorbě jednak layoutu v SW visTable a jednak k tvorbě 3D modelů v CAD softwarech. Spojením těchto výstupů vznikne 3D layout.



Obr. 75 Metoda 0 – schéma

## b) Metoda 1

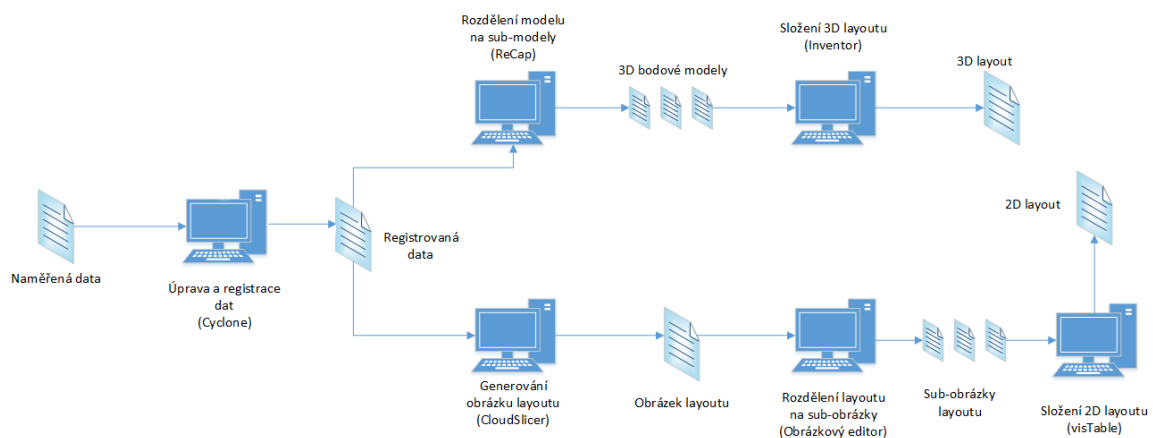
Schéma první metody je na Obr. 76. Vstup zde představují naskenovaná data. Ta je nejprve nutné očistit a spojit v SW Cyclone. Spojená data se převedou do SW ReCap, kde se upraví a rozdělí na menší části dle potřeby. Jednotlivé části se poté importují do AutoCAD pro tvorbu 2D layoutu, nebo do Inventor pro tvorbu 3D layoutu.



Obr. 76 Metoda 1 – schéma

## c) Metoda 2

Schéma metody 2 vidíme na Obr. 77. Vstupem do metody jsou opět pořízené skeny, které se nejprve zpracují v SW Cyclone. Registrovaný model je následně nahrán do algoritmu CloudSlicer, kde se převede na obrázek ve vysokém rozlišení. Ten se poté v obrázkovém editoru rozdělí na sub-elementy dle potřeby. Tyto elementy se následně poskládají do visTable, kde, v kombinaci s prvky visTable, vytvoříme 2D layout. Druhou možností je nahrání registrovaných dat do ReCap, kde model rozdělíme na elementy dle potřeby, které následně importujeme do Inventoru, kde z nich sestavíme 3D layout.



Obr. 77 Metoda 2 – schéma

## 9.2. Faktory hodnocení a kritéria hodnocení

U jednotlivých metod byly hodnoceny finální výstupy a kritéria, která je v průběhu tvorby ovlivňují. Hodnocenými faktory tedy jsou:

- 2D blokový layout (layout rozdělený na úroveň pracovišť)
- 2D strojový layout (layout rozdělený na úroveň strojů)
- 3D vizualizace (3D zobrazení layoutu)

U hodnocených faktorů byla určena kritéria hodnocení, která hodnotí celý proces tvorby výstupů a jejich výslednou kvalitu. Zvolená kritéria jsou:

- a) Čas pořízení dat – představuje celkový čas od počátku měření objektu až po naměření posledního rozměru
- b) Čas zpracování dat – představuje čas nutný k jakémukoliv zpracování naměřených dat tak, aby je bylo možné dále používat (např. registrace skenů)
- c) Čas tvorby – představuje čas od započetí tvorby výstupu v prvním SW až po export finálního výstupu
- d) Náročnost na uživatele – je stanovena kombinací obtížnosti úkonů při pořizování dat, celkovým počtem SW použitých při zpracování, množství a obtížnost operací v těchto SW
- e) Kvalita – hodnotí přesnost vytvořených výstupů a jejich vizuální úroveň

- f) Vypovídací schopnost – hodnotí míru využitelnosti finálních výstupů např. jaké lze provádět analýzy, zda lze výstup použít jak podklad pro další práci apod.
- g) HW nároky – hodnotí výkon, kterého musí dosáhnout počítačové vybavení, na kterém probíhá tvorba finálního výstupu
- h) Ekonomické hodnocení – viz samostatná kapitola

### 9.3. Vstupní hodnoty

Na následujících tabulkách vidíme vstupní hodnoty jednotlivých metod. V Tabulce 8 jsou uvedeny hodnoty pro klasickou metodu 0. Časy pořízení dat byly pořízeny na základě konzultací s odborníky a podle doby zpracování layoutu podobné složitosti, jako je náš layout. Mezikroky zpracování dat se v metodě nenacházejí. Čas tvorby 2D blokového layoutu byl odměřen na základě vytvoření našeho layoutu, tvorba ostatních druhů layoutu byla odvozena na základě konzultací a také přibližným přepočtem. Ostatní kritéria byla hodnocena na základě autorova uvážení.

2D strojovým layoutem je myšlen 2D layout, ve kterém jsou vloženy vymodelované modely strojů. 3D vizualizací je u této metody myšlen 3D layout vytvořený na základě vložení vymodelovaných objektů do SW visTable.

Metoda 0							
Faktor/kritérium	Pořízení dat (hod.)	Zpracování dat (hod.)	Tvorba (hod.)	Nároky na uživatele	Kvalita	Vypovídací schopnost	HW nároky
2D blokový	20	0	2	Nízké	Vysoká	Velmi vysoká	Nízké
2D strojový	30	0	60	Střední	Vysoká	Velmi vysoká	Nízké
3D vizualizace	30	0	60	Střední	Střední	Střední	Střední

Tabulka 7 Metoda 0 - vstupní hodnoty

V Tabulce 9 jsou uvedeny hodnoty pro metodu 1. Ve sloupci pořízení dat se vyskytují dvě hodnoty – první je časová hodnota zjištěná při použití našeho referenčního skeneru C5, druhá hodnota v závorce odvozená časová hodnota při použití výkonnějšího skeneru C10. Ve zpracování dat jsou zahrnuty časy úpravy a registrace dat a tvorba ořezů v SW ReCap. 2D strojovým layoutem je u této metody výkres vytvořený obkreslováním bodového mračna. 3D vizualizací je myšleno bodové mračno zobrazené v prostředí Inventor, do kterého je možné nahrát vytvořené modely či přemísťovat oddíly bodového mračna.

Metoda 1 C5 [C10]							
Faktor/kritérium	Pořízení dat (hod.)	Zpracování dat (hod.)	Tvorba (hod.)	Nároky na uživatele	Kvalita	Vypovídací schopnost	HW nároky
2D blokový	8 [6]	4	0,4	Vysoké	Vysoká	Nízká	Velmi vysoké
2D strojový	15 [10]	4	3	Velmi vysoké	Střední	Nízká	Velmi vysoké
3D vizualizace	15 [10]	4	2	Vysoké	Vysoká	Velmi vysoká	Velmi vysoké

Tabulka 8 Metoda 1 - vstupní hodnoty

Tabulka 10 obsahuje hodnoty metody 2. Časy pořízení dat jsou na stejném principu jako u předchozí tabulky. Zpracováním dat je myšleno čištění a registrace skenů, převod algoritmem CloudSlicer a rozdělení obrázku layoutu na úroveň strojů. Ostatní údaje jsou shodné s předchozí metodou.

2D blokovým (strojovým) layoutem je myšlen layout ve visTable, kde jsou vytvořeny plochy kolem pracovišť (strojů). 3D vizualizace je potom shodná s metodou 1.

Metoda 2 C5 [C10]							
Faktor/kritérium	Pořízení dat (hod.)	Zpracování dat (hod.)	Tvorba (hod.)	Nároky na uživatele	Kvalita	Vypovídací schopnost	HW nároky
2D blokový	8 [6]	4	0,4	Vysoké	Velmi vysoká	Velmi vysoká	Velmi vysoké
2D strojový	15 [10]	4	1	Vysoké	Vysoká	Velmi vysoká	Velmi vysoké
3D vizualizace	15 [10]	4	2	Vysoké	Velmi vysoká	Velmi vysoká	Velmi vysoké

Tabulka 9 Metoda 2 - vstupní hodnoty

#### 9.4.Stanovení vah kritérií

V dalším kroku byly stanoveny váhy jednotlivých kritérií. Váhy kritérií určují, jak moc dané kritérium ovlivňuje finální hodnocení metody. Čím důležitější je pro hodnocení kritérium, tím vyšší je jeho hodnota. Při stanovování kritérií je nutné dodržet pravidlo, že součet vah všech kritérií musí být roven 1. Váhy kritérií byly rozděleny dle Tabulky 11. Nejvyšší váhy jsme přiřadili jednotlivým časovým hodnotám a také vypovídací schopnosti výstupů, jelikož tato kritéria nejvíce definují efektivitu metody. Menší důraz je u

hodnocení kladen na kvalitu dat a na HW nároky a jako nejméně vážené kritérium byly zvoleny nároky na uživatele.

Kritérium	Pořízení dat	Zpracování dat	Tvorba	Nároky na uživatele	Kvalita	Vypovídací schopnost	HW nároky	Suma vah
Váha kritéria	0,2	0,2	0,2	0,05	0,075	0,2	0,075	1

Tabulka 10 Stanovení vah kritérií

## 9.5.Hodnocení metod

V tomto kroku byly u jednotlivých metod ohodnoceny hodnoty kritérií. Kritéria byla hodnocena body 1 – 5, přičemž 1 odpovídá nejhorší hodnotě a 5 nejlepší hodnotě. Po obodování všech metod se tyto body vynásobily s hodnotami kritérií, čímž získáme vážené body. Součtem všech vážených bodů dané metody získáme vážené hodnocení metody. Metoda s nejvyšším váženým hodnocením je poté považována za nejlepší pro daný faktor. Výsledné hodnocení je poté graficky znázorněno.

### 9.5.1. 2D blokový layout

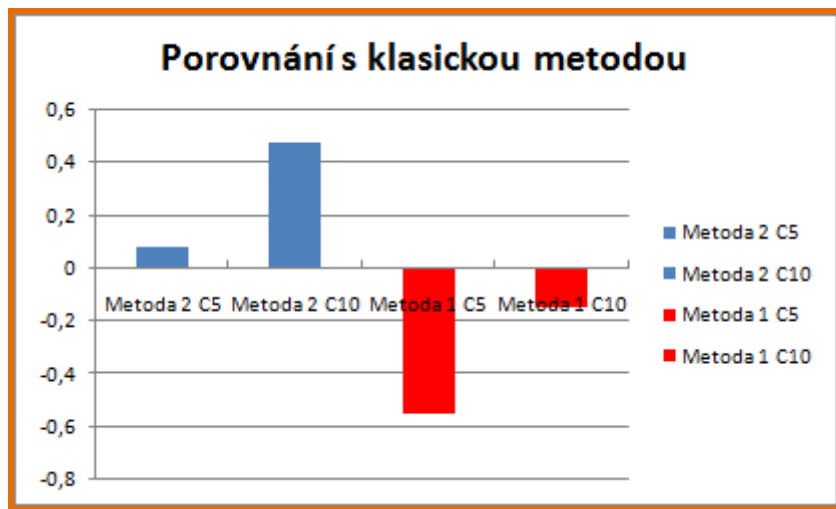
Na Obr. 78 vidíme hodnocení metod při tvorbě 2D blokového layoutu. Podle váženého hodnocení je nejvhodnější metodou pro tvorbu 2D blokových layoutů Metoda 2 při použití zařízení C10. Na Obr. 79 je pak zobrazeno grafické porovnání metod ve vztahu s klasickou metodou 0. Vážené hodnocení výchozí metody 0 odpovídá na grafu hodnotě 0. Nejvýhodnější je tedy použít Metodu 2 C10. Použití stejné metody se zařízením C5 je nepatrně výhodnější než klasická metoda. Metoda 1 je pak jednoznačně méně výhodná než klasická metoda, bez ohledu na použité zařízení.

Metoda/Kritérii	Pořízení dat	Zpracování dat	Tvorba	íroky na uživate	Kvalita	povídací schopnc	HW nároky	
Klasická	3	5	1	4	4	5	5	
Metoda 2 C5	3	3	5	3	5	5	1	
Metoda 2 C10	5	3	5	3	5	5	1	
Metoda 1 C5	3	3	5	3	4	2	1	
Metoda 1 C10	5	3	5	3	4	2	1	

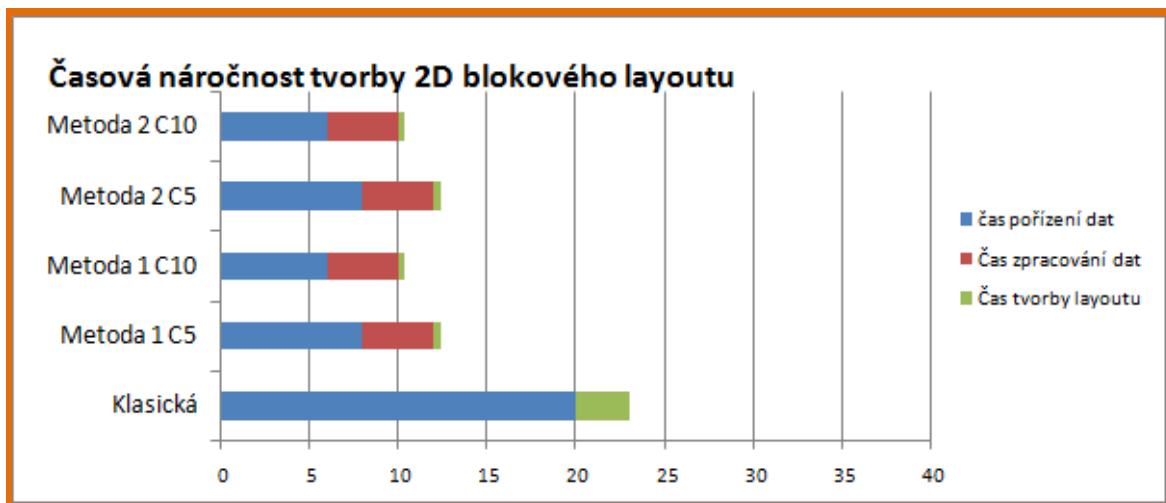
Metoda/Kritérii	Pořízení dat	Zpracování dat	Tvorba	íroky na uživate	Kvalita	povídací schopnc	HW nároky	Suma
Klasická	0,6	1	0,2	0,2	0,3	1	0,375	3,675
Metoda 2 C5	0,6	0,6	1	0,15	0,375	1	0,075	3,8
Metoda 2 C10	1	0,6	1	0,15	0,375	1	0,075	4,2
Metoda 1 C5	0,6	0,6	1	0,15	0,3	0,4	0,075	3,125
Metoda 1 C10	1	0,6	1	0,15	0,3	0,4	0,075	3,525

Obr. 78 2D blokový layout - hodnocení a vážené hodnocení metod



Obr. 79 Porovnání metod při tvorbě 2D blokového layoutu

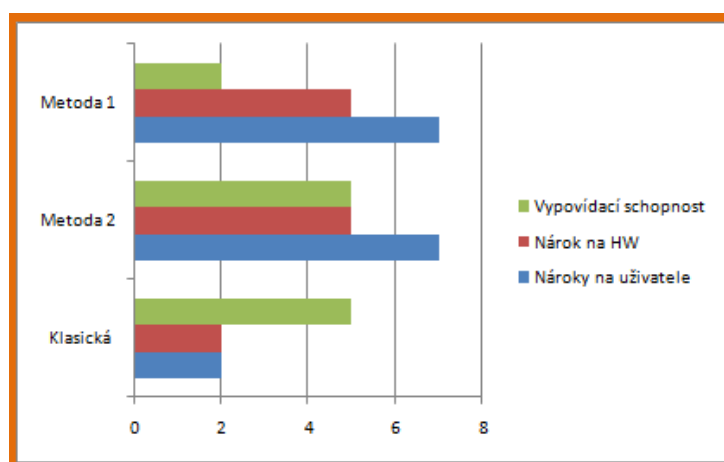
Na Obr. 80 jsou znázorněny časy jednotlivých metod při tvorbě 2D blokového layoutu. Pokud hodnotíme pouze časovou náročnost, vidíme, že čas pořízení 2D blokového layoutu je přibližně jednou tolik delší, než při použití jakékoliv metody skenování. Při použití metody skenování je tedy čas vytvoření layoutu kratší, než pořízení dat klasickou metodou. Hodnocení je vztažené na poměrně složitou výrobní halu. Metoda skenování by z časového hlediska byla výhodná pouze tehdy, kdy doba pořízení dat skenováním je kratší než pořizování dat klasickým způsobem.



Obr. 80 Časová náročnost tvorby 2D blokového layoutu



Na grafu na Obr. 81 jsou pak znázorněny ostatní parametry metod. Přestože použitím metody 1 bychom ušetřili čas pořízení layoutu, vyžaduje tato metoda vysoce výkonný HW a vysoké nároky na uživatele, neboli je příliš složitá a musí jí provádět zkušený uživatel. Navíc výstup z této metody bude mít nízké vypovídací schopnosti, konkrétně nebude možné provádět analýzy layoutu. Nároky na metodu 2 jsou stejné, avšak získáme výstup, který má stejnou vypovídací schopnost jako dosavadní metoda. Tímto se potvrzuje, že pro tvorbu 2D blokových layoutů je nejvhodnější metoda 2 za předpokladu použití skeneru C10.



Obr. 81 Hodnocení ostatních faktorů tvorby 2D blokového layoutu

### 9.5.2. 2D strojový layout

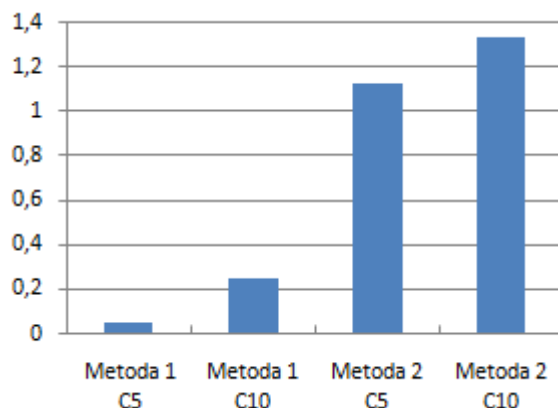
Číselné hodnocení metod při tvorbě 2D strojových layoutů je na Obr. 82. U tvorby 2D strojových layoutů vidíme podle číselného hodnocení značné rozdíly mezi metodami. Podle váženého hodnocení je nejvhodnější metodou opět metoda 2 C10. Ve srovnání s klasickou metodou je ale jakákoliv z nových metod vhodnější. Grafické srovnání použitých metod je na Obr. 83, kde opět klasická metoda představuje hodnotu 0.

Metoda/Kritéri	Pořízení dat	Zpracování dat	Tvorba	ároky na uživate	Kvalita	ypovídací schopno	HW nároky
Klasická	0,5	5	0,1	3	3	5	4
Metoda 1 C5	4	3	4	3	4	2	1
Metoda 1 C10	5	3	4	3	4	2	1
Metoda 2 C5	4	2	5	3	5	5	1
Metoda 2 C10	5	2	5	3	5	5	1

Metoda/Kritéri	Pořízení dat	Zpracování dat	Tvorba	ároky na uživate	Kvalita	ypovídací schopno	HW nároky	Suma
Klasická	0,1	1	0,02	0,15	0,225	1	0,3	2,795
Metoda 1 C5	0,8	0,6	0,8	0,15	0,3	0,4	0,075	3,125
Metoda 1 C10	1	0,6	0,8	0,15	0,3	0,4	0,075	3,325
Metoda 2 C5	0,8	0,4	1	0,15	0,375	1	0,075	3,8
Metoda 2 C10	1	0,4	1	0,15	0,375	1	0,075	4

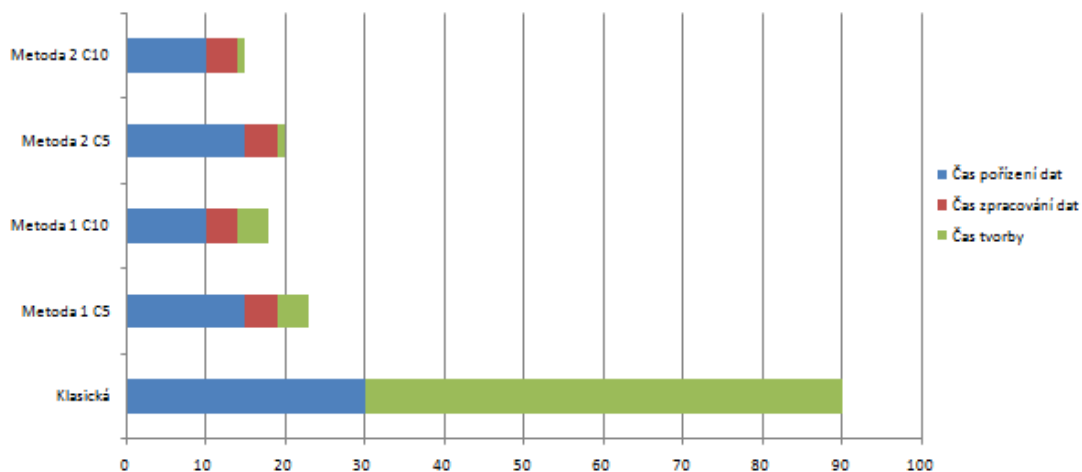
Obr. 82 2D strojový layout - hodnocení a vážené hodnocení metod



Obr. 83 2D strojový layout - porovnání metod

Na Obr. 84 vidíme časové náročnosti tvorby 2D strojových layoutů jednotlivými metodami. Na první pohled je zřejmé, že úspora času při použití laserového skenování je přibližně 4násobná. Časová náročnost pořizování dat je při skenování poloviční, než u klasické metody. Největší úspora času je však při samotné tvorbě layoutu. Pokud chceme reálný obraz skutečného stavu, je nutné všechny představitele strojů vymodelovat, což je činnost, která zabírá nejvíce času. Rozdíl časů mezi metodami 1 a 2 je také znatelný. Je to způsobeno tím, že u metody 1 musíme vykreslovat půdorysy strojů a zařízení, kdežto u metody 2 pouze rozdělíme obrázek na menší části.

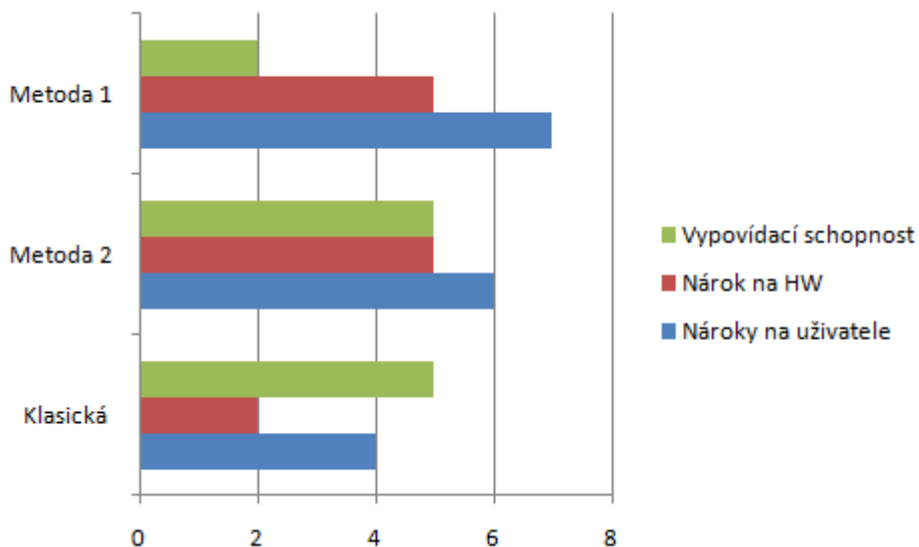
#### Časová náročnost tvorby 2D strojového layoutu



Obr. 84 Časová náročnost tvorby 2D strojového layoutu

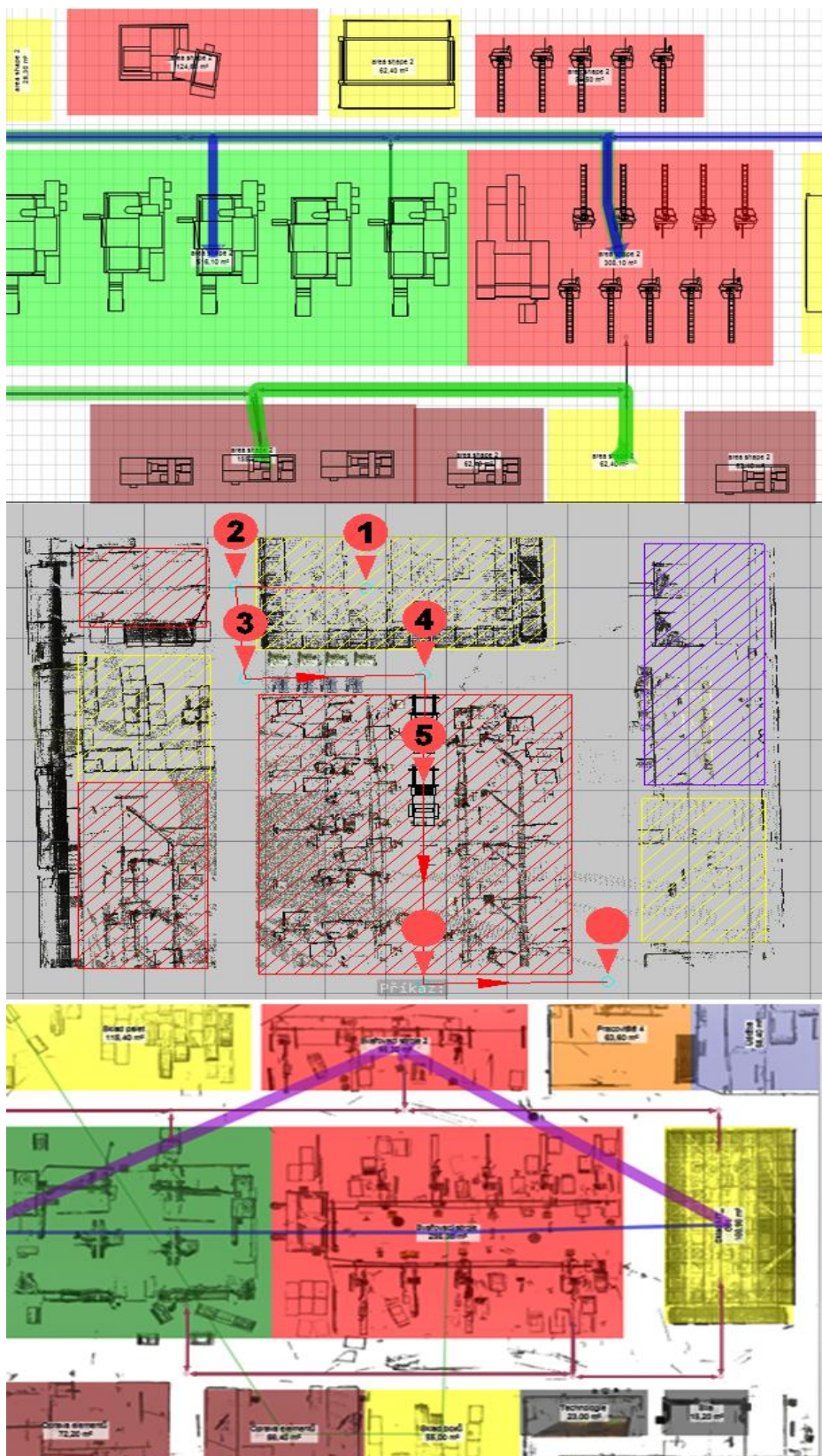
Na Obr. 85 jsou znázorněny ostatní ovlivňující faktory. Klasická metoda má opět největší vypovídací schopnost a je nejméně náročná na uživatele i na HW. Vypovídací schopnost výstupu u metody 2 je stejná, uživatel musí oproti klasické metodě zvládnout práci v SW Cyclone a také zpracovat algoritmus CloudSlicer. Rovněž je nutné mnohem výkonnější

HW vybavení. Metoda 1 má nízkou vypovídací schopnost a kreslení layoutu je náročnější, než u metody 2. Z grafických hodnocení je tedy zřejmé, že metoda 2 je opět nejefektivnější.



Obr. 85 Hodnocení ostatních faktorů při tvorbě 2D strojového layoutu

Na Obr. 86 můžeme porovnat výstupy jednotlivých metod. U klasické metody (nahore) jsou zobrazeny půdorysy strojů a zařízení přibližné reálným rozměrům, čemuž ovšem předchází dlouhá tvorba strojů. U metody 1 (uprostřed) pořídíme rozměrově velice přesné půdorysy objektů, za předpokladu kvalitního bodového mračna. U metody 2 (dole) získáme kombinaci přehlednosti z metody 0 a přesnosti objektů z metody 1.



Obr. 86 Výstupní 2D layouty jednotlivých metod

### 9.5.3. 3D vizualizace

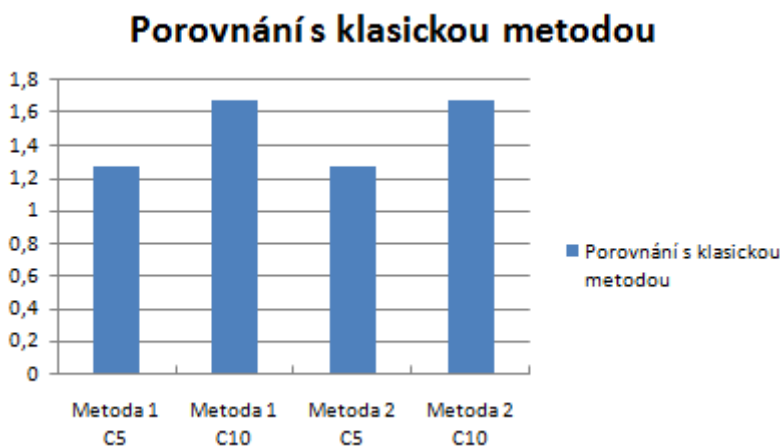
Číselné hodnocení 3D vizualizace jednotlivých metod je na Obr 87. Z váženého hodnocení je zřejmé, že metody laserového skenování jsou jednoznačně efektivnější než klasická metoda. Jak můžeme vidět z čísel a z grafického zobrazení na Obr. 88, jsou obě metody skenování stejně efektivní, jelikož se u obou využívá stejného postupu vizualizace. Rozdíl je pouze při použití rozdílných zařízení.

Metoda/Kritérium	Pořízení dat	Zpracování dat	Tvorba	nároky na uživatele	Kvalita	řídící schopno	HW nároky
Klasická	0,5	5	0,1	4	3	4	4
Metoda 1 C5	3	4	5	3	5	5	1
Metoda 1 C10	5	4	5	3	5	5	1
Metoda 2 C5	3	4	5	3	5	5	1
Metoda 2 C10	5	4	5	3	5	5	1

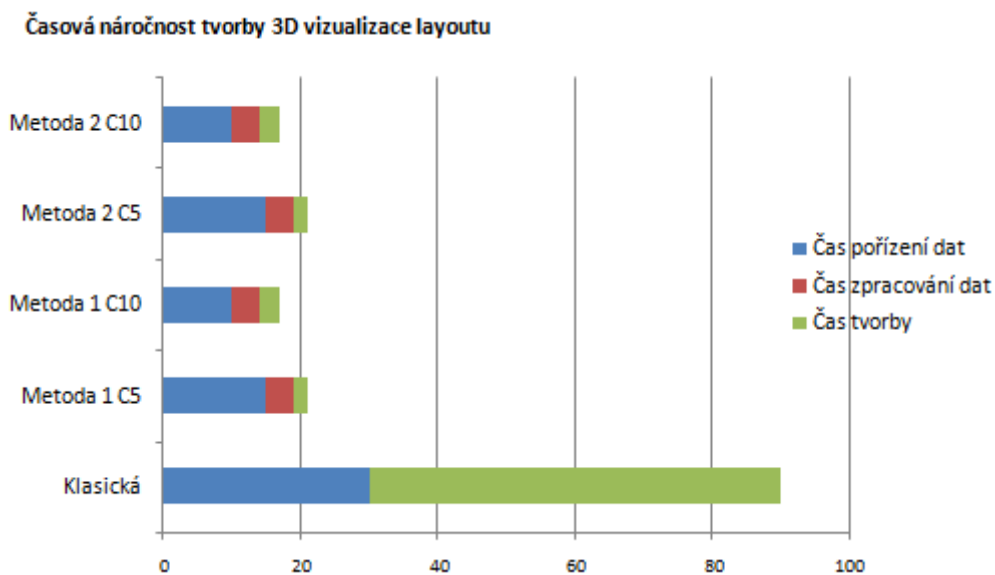
Metoda/Kritérium	Pořízení dat	Zpracování dat	Tvorba	nároky na uživatele	Kvalita	řídící schopno	HW nároky	Suma
Klasická	0,1	1	0,02	0,2	0,225	0,8	0,3	2,645
Metoda 1 C5	0,6	0,8	1	0,15	0,375	1	0,075	4
Metoda 1 C10	1	0,8	1	0,15	0,375	1	0,075	4,4
Metoda 2 C5	0,6	0,8	1	0,15	0,375	1	0,075	4
Metoda 2 C10	1	0,8	1	0,15	0,375	1	0,075	4,4

Obr. 87 3D vizualizace - hodnocení a vážené hodnocení metod



Obr. 88 3D vizualizace - porovnání metod

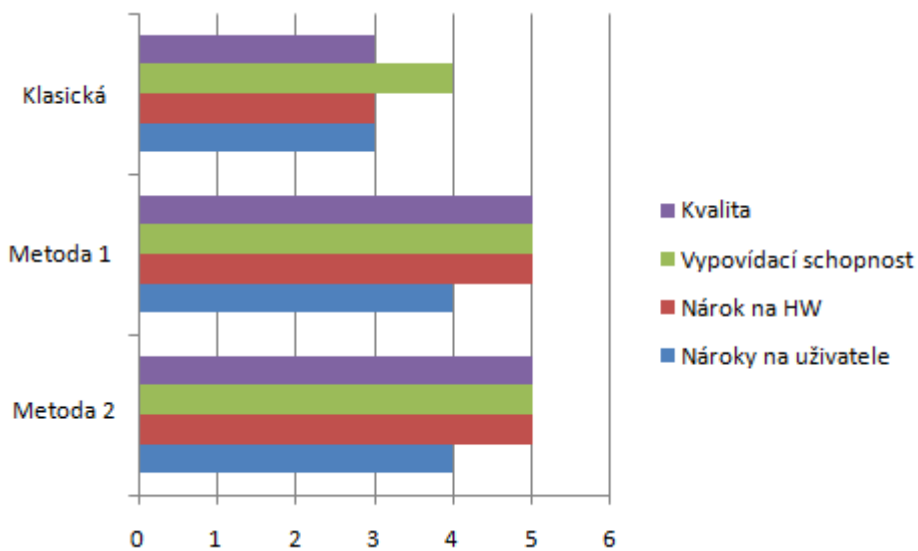
V časovém grafu na Obr. 89 je opět vidět obrovská úspora času u skenovacích metod. Ta je zde ještě větší, než u 2D strojového layoutu, jelikož 3D vizualizace je částečně hotova již v konečném bodě zpracování dat (registrace skenů).



Obr. 89 Časová náročnost tvorby 3D vizualizace

Graf na Obr. 90 ukazuje, že kvalita vizualizace a její vypovídací schopnost je vyšší u metod skenování, ovšem za cenu vyšších nároku na HW a na uživatele. Finální výstupy jsou pak na Obr. 91, kde na horním obrázku vidíme vizualizaci metodou skenování (v nízké kvalitě skenování) a na spodním obrázku vizualizaci metodou klasickou pomocí modelování ve visTable. Rozdíl v úrovni realistického zobrazení je vidět na první pohled. Rovněž vypovídací schopnost skenovacích metod je vyšší, jelikož vizualizační modle zahrnuje veškeré objekty v hale, jejichž modelováním v klasické metodě by se doba tvorby vizualizace značně zvýšila.





Obr. 90 Hodnocení ostatních faktorů při tvorbě 3D vizualizace



Obr. 91 3D vizualizace - porovnání výstupů metod [31]



## 9.6. Ekonomické hodnocení

V ekonomickém hodnocení metod budou zahrnuty pořizovací náklady metod a náklady na zpracování layoutu u jednotlivých metod. Následující uvedené náklady a propočty jsou velice obecné, jelikož jednotlivé položky pořizovacích nákladů nelze přesně stanovit nebo získat přesné hodnoty. Pořizovací náklady byly zjištěny na základě konzultací a na vývojových trendech cen. Náklady na zpracování jsou uvedeny pro tvorbu konkrétního layoutu v této práci. U jiných, rozdílně složitých, layoutů budou náklady rovněž rozdílné. Poměry nákladů a úspor by měly být zachovány pro jakoukoli složitost výroby.

### 9.6.1. Náklady metod

V Tabulce 12 vidíme rozpis nákladů klasické metody 0. Cena SW visTable je orientační, zjištěná na základě konzultací, ale měla by přibližně odpovídat realitě. Pořizovací náklady metody 0 jsou přibližně 250 000 Kč + navíc 55 000 Kč/rok na udržování licencí. Následně jsou uvedeny náklady na tvorbu jednotlivých výstupů, které získáme jako sumu nákladů jednotlivých činností. Náklady činností jsou pak stanoveny vynásobením časové náročnosti činnosti a hodinové sazby pracovníka, kterou jsme zvolili 150 Kč/hod.

V dalších tabulkách 13 – 16 jsou uvedeny náklady skenovacích metod 1 a 2 pro oba druhy skenovacích zařízení C5 a C10. Jelikož přesné ceny skenovacích zařízení nebylo možné získat, jsou jejich ceny odvozeny. Cena zařízení C5 byla v roce 2014 přibližně 1 200 000 Kč, cena zařízení C10 v roce 2014 byla 2 300 000 Kč. Dnes se cena zařízení C10 pohybuje kolem 1 800 000 Kč, z čehož jsme odvodili, že cena zařízení C5 by se mohla pohybovat kolem 700 000 Kč. Cena HW byla stanovena součtem cen komponent počítače, na kterém byly metody skenování testovány. Náklady činností byly stanoveny stejným způsobem.

Náklady - Metoda 0		
<b>Pořizovací náklady</b>		
Položka	Pořizovací cena [Kč]	Náklady za rok [Kč/rok]
SW visTable	180 000	0
Licence Inventor	55 000	55 000
Hardware	15 000	0
<b>Pořizovací náklady</b>	<b>250 000</b>	<b>55 000</b>
<b>Náklady na tvorbu layoutu</b>		
<b>2D blokový</b>		
Činnost	Doba trvání činnosti [hod.]	Náklady činnosti [Kč]
Pořízení dat	20	3000
Tvorba	2	300
Cestování	2	200
<b>Celkem náklady</b>		<b>3500</b>
<b>2D strojový</b>		
Činnost	Doba trvání činnosti [hod.]	Náklady činnosti [Kč]
Pořízení dat	30	4500
Tvorba	60	9000
Cestování	3	300
<b>Celkem náklady</b>		<b>13800</b>
<b>3D vizualizace</b>		
Činnost	Doba trvání činnosti [hod]	Náklady činnosti [Kč]
Pořízení dat	30	4500
Tvorba	60	9000
Cestování	3	300
<b>Celkem náklady</b>		<b>13800</b>
Náklady činnosti = Trvání činnosti [hod.] * hodinová sazba [Kč/hod.] = Doba trvání * 150		

Tabulka 11 Přehled nákladů Metoda 0

<b>Náklady - Metoda 1 C5</b>		
<b>Požizovací náklady</b>		
Položka	Požizovací cena [Kč]	Náklady za rok [Kč/rok]
Leica ScanStation C5 + Cyclone	700 000	0
Licence AutoCAD	54000	54000
Licence Inventor	55000	55000
Licence ReCap	9000	9000
Hardware	60000	0
<b>Požizovací náklady</b>	<b>878 000</b>	<b>118 000</b>
<b>Náklady na tvorbu layoutu</b>		
<b>2D blokový</b>		
Činnost	Doba trvání činnosti [hod.]	Náklady činnosti [Kč]
Pořízení dat	8	1200
Zpracování dat	4	600
Tvorba	1	150
Cestování	1	100
<b>Celkem náklady</b>		<b>2050</b>
<b>2D strojový</b>		
Činnost	Doba trvání činnosti [hod.]	Náklady činnosti [Kč]
Pořízení dat	15	2250
Zpracování dat	4	600
Tvorba	4	600
Cestování	2	200
<b>Celkem náklady</b>		<b>3650</b>
<b>3D vizualizace</b>		
Činnost	Doba trvání činnosti [hod.]	Náklady činnosti [Kč]
Pořízení dat	15	2250
Zpracování dat	4	600
Tvorba	1	150
Cestování	2	200
<b>Celkem náklady</b>		<b>3200</b>

Náklady činnosti = Trvání činnosti [hod.] \* hodinová sazba [Kč/hod.] = Doba trvání \* 150

Tabulka 12 Přehled nákladů - Metoda 1 C5

### Náklady - Metoda 1 C10

Pořizovací náklady		
Položka	Pořizovací cena [Kč]	Náklady za rok [Kč/rok]
Leica ScanStation C5 + Cyclone	1 200 000	0
Licence AutoCAD	54000	54000
Licence Inventor	55000	55000
Licence ReCap	9000	9000
Hardware	60000	0
<b>Pořizovací náklady</b>	<b>1 378 000</b>	<b>118 000</b>

Náklady na tvorbu layoutu		
2D blokový		
Činnost	Doba trvání činnosti [hod.]	Náklady činnosti [Kč]
Pořízení dat	6	900
Zpracování dat	4	600
Tvorba	1	150
Cestování	1	100
<b>Celkem náklady</b>		<b>1750</b>

2D strojový		
Činnost	Doba trvání činnosti [hod.]	Náklady činnosti [Kč]
Pořízení dat	10	1500
Zpracování dat	4	600
Tvorba	4	600
Cestování	2	200
<b>Celkem náklady</b>		<b>2900</b>

3D vizualizace		
Činnost	Doba trvání činnosti [hod.]	Náklady činnosti [Kč]
Pořízení dat	10	1500
Zpracování dat	4	600
Tvorba	1	150
Cestování	2	200
<b>Celkem náklady</b>		<b>2450</b>

Náklady činnosti = Trvání činnosti [hod.] \* hodinová sazba [Kč/hod.] = Doba trvání \* 150

Tabulka 13 Přehled nákladů - Metoda 1 C10

Náklady - Metoda 2 C5			
<b>Pořizovací náklady</b>			
Položka	Pořizovací cena [Kč]	Náklady za rok [Kč/rok]	
Leica ScanStation C5 + Cyclone	700 000	0	0
SW visTable	180000	0	0
Licence Inventor	55000	55000	
Licence ReCap	9000	9000	
Hardware	60000	0	
<b>Pořizovací náklady</b>	<b>1 004 000</b>	<b>64 000</b>	
<b>Náklady na tvorbu layoutu</b>			
<b>2D blokový</b>			
Činnost	Doba trvání činnosti [hod.]	Náklady činnosti [Kč]	
Pořízení dat	8	1200	
Zpracování dat	4	600	
Tvorba	1	150	
Cestování	1	100	
<b>Celkem náklady</b>		<b>2050</b>	
<b>2D strojový</b>			
Činnost	Doba trvání činnosti [hod.]	Náklady činnosti [Kč]	
Pořízení dat	15	2250	
Zpracování dat	4	600	
Tvorba	1	150	
Cestování	2	200	
<b>Celkem náklady</b>		<b>3200</b>	
<b>3D vizualizace</b>			
Činnost	Doba trvání činnosti [hod.]	Náklady činnosti [Kč]	
Pořízení dat	15	2250	
Zpracování dat	4	600	
Tvorba	1	150	
Cestování	2	200	
<b>Celkem náklady</b>		<b>3200</b>	
Náklady činnosti = Trvání činnosti [hod.] * hodinová sazba [Kč/hod.] = Doba trvání * 150			

Tabulka 14 Přehled nákladů - Metoda 2 C5

Náklady - Metoda 2 C10

Pořizovací náklady		
Položka	Pořizovací cena [Kč]	Náklady za rok [Kč/rok]
Leica ScanStation C5 + Cyclone	1 200 000	0
SW visTable	180000	0
Licence Inventor	55000	55000
Licence ReCap	9000	9000
Hardware	60000	0
<b>Pořizovací náklady</b>	<b>1 504 000</b>	<b>64 000</b>

Náklady na tvorbu layoutu		
2D blokový		
Činnost	Doba trvání činnosti [hod.]	Náklady činnosti [Kč]
Pořízení dat	6	900
Zpracování dat	4	600
Tvorba	1	150
Cestování	1	100
<b>Celkem náklady</b>		<b>1750</b>

2D strojový		
Činnost	Doba trvání činnosti [hod.]	Náklady činnosti [Kč]
Pořízení dat	10	1500
Zpracování dat	4	600
Tvorba	1	150
Cestování	2	200
<b>Celkem náklady</b>		<b>2450</b>

3D vizualizace		
Činnost	Doba trvání činnosti [hod.]	Náklady činnosti [Kč]
Pořízení dat	10	1500
Zpracování dat	4	600
Tvorba	1	150
Cestování	2	200
<b>Celkem náklady</b>		<b>2450</b>

Náklady činnosti = Trvání činnosti [hod.] \* hodinová sazba [Kč/hod.] = Doba trvání \* 150

Tabulka 15 Přehled nákladů - Metoda 2 C10



## 9.6.2. Investice, úspora nákladů a návratnost metod

### a) Úspora metod

Na základě stanovených nákladů byla nejprve zkoumána úspora nákladů jednotlivých metod. V Tabulce 17 jsou zobrazeny úspory zpracovacích nákladů na 1 layout oproti klasické metodě. Úspora nákladů při tvorbě 2D blokového layoutu je 1450 – 1750 Kč na jeden layout. Úspora nákladů při tvorbě strojového layoutu a 3D vizualizaci je značně vyšší a pohybuje se kolem 10 500 Kč na layout. Tyto úspory vznikají z důvodu zkrácení časů pořizování dat a tvorby layoutu. Největších úspor tedy dosahujeme při použití skenovacích metod na tvorbu 2D a 3D strojových layoutů.

Úspora nákladů na tvorbu 1 layoutu oproti klasické metodě		
<b>2D blokový layout</b>		
Metoda	Náklady na 1 layout [Kč]	Úspora na 1 layout [Kč]
Metoda 0	3500	0
Metoda 1 C5	2050	1450
Metoda 1 C10	1750	1750
Metoda 2 C5	2050	1450
Metoda 2 C10	1750	1750
<b>2D strojový layout</b>		
Metoda	Náklady na 1 layout [Kč]	Úspora na 1 layout [Kč]
Metoda 0	13800	0
Metoda 1 C5	3650	10150
Metoda 1 C10	2900	10900
Metoda 2 C5	3200	10600
Metoda 2 C10	2450	11350
<b>3D vizualizace</b>		
Metoda	Náklady na 1 layout [Kč]	Úspora na 1 layout [Kč]
Metoda 0	13800	0
Metoda 1 C5	3200	10600
Metoda 1 C10	2450	11350
Metoda 2 C5	3200	10600
Metoda 2 C10	2450	11350

Tabulka 16 Úspora nákladů jednotlivých metod oproti klasické metodě

### b) Investice a návratnost investice ve výchozím stavu

Pokud by naším výchozím stavem byla metoda 0, investice do metody 1 by byla 628 000 Kč při pořízení skeneru C5, 1 254 000 Kč při pořízení skeneru C10. Investice do metody 2 by byla 754 000 Kč pro skener C5 a 1 128 000 Kč pro skener C10. Úspora zpracovacích nákladů je téměř shodná. Návratnost investice z úspor poté zjistíme pomocí vztahu:

$$Q = I/\dot{U}$$

Q...počet vytvořených layoutů, za který se investice vrátí [ks]

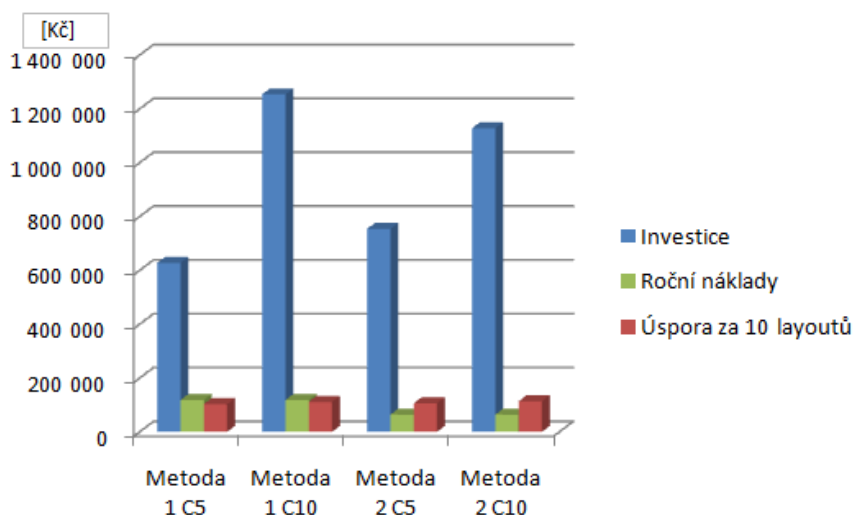
I...velikost investice [Kč]

Ú...úspora z jednoho layoutu [Kč/ks]

Jak vidíme z Tabulky 18 a z grafu na Obr. 92, množství layoutů, za které by se investice zaplatila je vysoké. V reálném případě by to znamenalo, že bychom museli provést skenování a modelování 60 – 70 výrobních hal při investování do skeneru C5, a více než 100 výrobních hal při investování do skeneru C10. Navíc z grafu je i zřetelné, že roční náklady metody 1 mohou být vyšší nebo přibližně stejné jako je úspora z 10ti layoutů.

Metoda	Investice [Kč]	Úspora na 1 layout [Kč]	Návratnost z úspor [q]
Metoda 1 C5	628 000	10 300	61
Metoda 1 C10	1 254 000	11 125	113
Metoda 2 C5	754 000	10 600	71
Metoda 2 C10	1 128 000	11 350	99

Tabulka 17 Investice, úspora a návratnost investice ve výchozím stavu



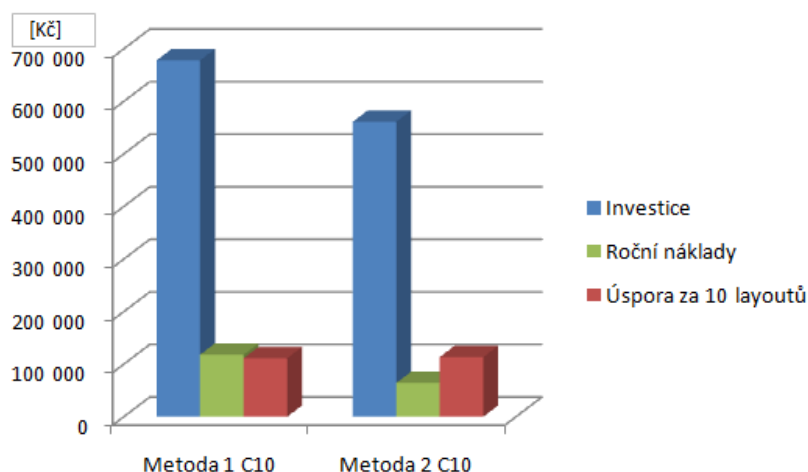
Obr. 92 Grafické zobrazení investic, ročních nákladů a úspor ve výchozím stavu

### c) Investice a návratnost investice v současném stavu

Pokud by naším výchozím stavem byl současný stav, kdy disponujeme skenovacím zařízením Leica C5, HW vybavením, SW visTable i zkušenými pracovníky, vidíme velikost investic do obou metod v tabulce 19. Investice do metody a doba její návratnosti jsou nižší pro metodu 2. Z grafu na Obr. 93 je pak zřejmé, že roční náklady metody 1 by byly vyšší než náklady metody 2 a úspory z metody 1 by tyto náklady nemusely pokrýt.

Metoda	Investice [Kč]	Úspora na 1 layout [Kč]	Návratnost z úspor [q]
Metoda 1 C10	678 000	11 125	61
Metoda 2 C10	561 000	11 350	49

Tabulka 18 Investice, úspora a návratnost investic v současném stavu



Obr. 93 Grafické zobrazení investic, ročních nákladů a úspor v současném stavu

## 9.7. Výsledky hodnocení efektivity a ekonomického hodnocení

Nyní shrneme výsledky, které jsme zjistili při hodnocení. Shrnutí bude provedeno pro každý druh výstupu, jak podle hodnocení efektivity, tak podle ekonomického hodnocení. U každého výstupu pak bude uvedena doporučená metoda pro jeho tvorbu a další komentáře.

### 9.7.1. 2D blokový layout

Pro tvorbu blokového layoutu bylo zjištěno, že obě metody skenování požadují přibližně poloviční čas na tvorbu výstupu. Rozdíl mezi použitými zařízeními C5 a C10 je zanedbatelný, jelikož úspora času při použití výkonnějšího zařízení je pouze 15%. Tvorba layoutu metodami skenování vyžaduje mnohem výkonnější vybavení a také více zkušeného uživatele, nicméně výstup metody 2 má stejnou vypovídací schopnost jako klasická metoda, kdežto vypovídací schopnost metody 1 je nízká z důvodu použitých SW a jejich možností. Výstupy klasické metody a metody 2 se shodují, přičemž výstupem

metody 2 získáme rovnou strojový layout. Z hodnocení efektivity metod pak vyšla jako nejlepší varianta metoda 2 C10, metoda 2 C5 byla přibližně na stejné úrovni jako klasická metoda a obě varianty metody 1 byly méně efektivnější, než klasická metoda.

V ekonomickém hodnocení bylo zjištěno, že finanční úspory při použití metod laserového skenování jsou přibližně 45%. Náklady na pořízení takovýchto layoutů se však pohybují v nízkých částkách, cca 1500 Kč úspora. Tato úspora přináší velmi malou návratnost vysokých investic do skenovacích metod bez ohledu na výchozí stav a výkon použitého zařízení.

Pokud se nacházíme ve výchozím stavu, kdy nedisponujeme skenovacím zařízením, investice do skenovacích metod se pro tvorbu 2D blokových layoutů nevyplatí. Pokud se nacházíme v současném stavu, kdy disponujeme zařízením C5 a dalším potřebným vybavením, je nejvýhodnější použití Metody 2 C5. Investice do výkonnějšího zařízení se v případě 2D blokových layoutů nevyplatí.

### **9.7.2. 2D strojový layout, 3D vizualizace**

Jelikož se při tvorbě 2D strojových layoutů a 3D vizualizace používá téměř shodných postupů a kritéria hodnocení nabývají stejných hodnot, budou tyto dva výstupy hodnoceny společně. Pro jejich tvorbu je časová úspora skenovacích metod oproti klasické metodě až 5ti násobná. Opět je vyžadován výkonnější HW a zkušenější uživatel. Vypovídací schopnost layoutů metody 1 je nízká, naopak její vypovídací schopnost a především kvalita 3D vizualizace je oproti klasické metodě vyšší. Výstupy klasické metody a metody 2 jsou téměř shodné, 3D vizualizace metody 2 má vyšší vypovídací schopnost a kvalitu. Všechny metody skenování jsou pro tvorbu 2D strojového layoutu a 3D vizualizace efektivnější než klasická metoda. Z těchto metod je nejefektivnější metoda 2 C10, druhou je pak metoda 2 C5 a dále je to metoda 1 C10 a C5. Pro tvorbu 3D vizualizace jsou pak obě skenovací metody stejně efektivní. Efektivnější jsou jejich varianty C10.

Finanční úspory skenovacích metod pro tyto druhy výstupů jsou již značně vyšší než pro blokový layout. Úspory zpracovacích nákladů jsou průměrně 70%. Finanční úspora na našem layoutu by byla přibližně 10 500,- Kč. Návratnost z úspor je vyšší, než u 2D blokových layoutů, stále je však poměrně nízká. Návratnost metody 2 je kratší než návratnost metody 1. Pokud se nacházíme ve výchozím stavu, nejkratší návratnost je pro Metodu 1 C5. Pokud se nacházíme v současném stavu, je nejkratší návratnost investice metody 2 C10.

Úspora času a nákladů skenovacích metod je při tvorbě 2D a 3D strojových layoutů velká a metody skenování se zde zcela jistě vyplatí. Z dlouhodobého hlediska se vyplatí investice do metody 2 C10. Nejkratší doba návratnosti investic z úspor by se pohybovala kolem 6ti let, což je vzhledem k velikosti investice, která nepřesáhne 3 000 000 Kč,-, dlouhá doba.

Z tohoto důvodu by bylo vhodné kromě primárního využití skenovacího zařízení na modelování výroby nabízet toto zařízení k outsourcingu. K takovýmto nabídkám by bylo možné zařadit pořízení a základní zpracování dat, přičemž následné zpracování by již bylo na zákazníkově. Možnost pořízení 3D vizualizace podniku s možností aktualizace by rovněž mohlo patřit k nabízeným službám. Doba návratnosti by se tím snížila jistě i na polovinu.

### **9.8. Celkové hodnocení metody laserového skenování**

V této závěrečné fázi shrneme poznatky zjištěné během celého procesu s výsledky porovnání metod. Stanovíme zásadní výhody a nevýhody metody skenování a námi zvolené metody postupu tvorby layoutů a také uvedeme doporučení a další komentáře.

Jako celkově nejvhodnější metoda pro modelování výroby, které jsme zkoumali, se ukázala Metoda 2. Zde je stručná charakteristika této metody:

- Používané SW pro 2D layouty – Cyclone, CloudSlicer, visTable
- Používané SW pro 3D vizualizaci – Cyclone, ReCap, Inventor
- Využití skenovaných dat – podklad pro tvorbu layoutu, možnost měření a ověření reálného stavu přímo od PC, veškeré analýzy layoutů ve visTable, vysoce realistická vizualizace výroby, možnost provádění změn v modelu výroby
- Lehce náročnější na manipulaci ve visTable než klasická metoda
- Modelování v Inventoru podle bodového mračka
- Úspora zpracovacích nákladů až 70%
- Výkonnější zařízení C10 zkrátí dobu pořízení dat o cca 30%
- Menší a méně složité výrobní haly lze skenovat ve vyšší kvalitě
- Metoda je výhodná pro tvorbu 2D a 3D strojových layoutů
- Při pořizování blokových layoutů je výhodná, pokud je čas pořízení dat klasickou metodou kratší, než 2 hodiny
- Při skenování haly musíme naskenovat všechny objekty, včetně jejich pozic, a alespoň jeden představitel určitého typu strojů musí být naskenován ze tří pohledů (2 postranní, jeden horní)

Co se týká poznámek možnosti skenování ve vyšší kvalitě a doby pořízení blokových layoutů, v Tabulce 20 jsou uvedeny doby pořízení jedné skenovací pozice v různých kvalitách pro zařízení C5 a C10. Na základě těchto hodnot lze určit předběžnou dobu skenování objektu.

Čas pořízení 1 skenovací pozice		
Rozlišení/skenovací zařízení	C5	C10
Nízké	13,5min	11,75min
Střední	23,75min	17min
Vysoké	65min	37,5min
Nejvyšší	350min	180min

Tabulka 19 Časy pořízení jednoho skenu

Pro pořízení 2D layoutu postačí nízké rozlišení. Pro 3D vizualizaci je doporučeno minimální rozlišení střední, ideálně vysoké. Pro stanovení předběžné doby pořizování dat je nutné přesné stanovení počtu skenovacích pozic. Ty můžeme stanovit v úvodní analýze, kdy si skenovanou halu projdeme a určíme počet pozic pro pořízení kompletního skenu. Pokud pořídíme kompletní sken, můžeme veškeré informace potřebné pro tvorbu layoutu získat od PC.

Pokud použijeme tuto metodu, můžeme celou metodu laserového skenování při použití pro modelování výroby shrnout do pěti hlavních výhod a nevýhod:

Výhody:

- Úspora času – zjistili jsme, že úspora času tvorby layoutu může být i 5tinásobná
- Úspora zpracovacích nákladů – s úsporou času souvisí i úspora zpracovacích nákladů, která může být až 70%
- Vysoká kvalita výstupů – pokud jsou data pořízená ve správné kvalitě, obdržíme rozměrově velice přesné výstupy a vizualizaci s vysokým stupněm reálnosti
- Velké množství digitálních dat – pokud pořídíme a správně zpracujeme data, máme digitální model reálného stavu přímo v počítači. Odpadá tak nutnost zvláštní návštěvy výrobní haly pro naměření rozměrů, ověření správnosti apod.
- Potenciální outsourcing – i když by byl skener primárně využíván pro modelování výroby, lze jej využít i pro jiné účely. Například pořízení digitálního modelu výroby s možností aktualizace, pořízení modelu staveb nebo budov, skenování pro archeologii a další využití zmiňované v teoretické části. Na straně majitele skeneru by došlo ke skenování objektu a základní úpravu dat (čištění, registrace, příprava).

Zákazníkovi by se pak předal připravený model, který by si zpracoval podle svých potřeb.

Nevýhody:

- Pořizovací náklady – pořizovací náklady skenovacího zařízení a potřebného SW a HW jsou poměrně vysoké. Před samotnou investicí bychom měli zvážit, zda budeme produkovat takové množství výstupů a budeme moci využít outsourcingových služeb, aby doba návratnosti investice byla přijatelná
- Vyšší nároky na uživatele – uživatel, který by pořizoval layouty tímto způsobem by musel mít širší dovednosti. Musí umět samostatně zacházet se skenerem, zpracovat skenovaná data a zpracovaná data připravit do visTable, případně sám vytvořit i samotný layout s analýzami. Ze zkušeností autora by konkrétně pro modelování výroby a základní outsourcingové služby postačilo 1denní školení na ovládání skeneru a 1denní školení na SW úpravu
- Vysoké nároky na HW – výrobní haly obsahují velké množství objektů, což má za následek velké množství bodů v bodovém mračnu a vyšší nároky na HW, který je dokáže zpracovat.
- Nelze skenovat jakýkoliv objekt – ne všechny výrobní haly by bylo možné naskenovat. V některých halách nemusí být dostatek prostorů pro sestavení skeneru, některé mohou mít nevhodné podmínky jako je vysoká prašnost, teplota. Dalším problémem mohou být haly, ve kterých je neustálý pohyb velkého množství manipulačních zařízení.
- Data nelze přímo použít v některých SW – data ve formátu bodových mračen nelze zpracovávat jako modely. Nemůžeme tedy data přímo nahrát do modelovacích, simulačních nebo ergonomických SW jako objekty, se kterými tyto SW běžně pracují.



## Závěr

Tato diplomová práce pojednávala o technologii laserového skenování a o možnostech jejího využití při modelování výroby, zejména pak tvorbě výrobních layoutů. Hlavním cílem bylo najít způsob modelování výroby za pomoci této technologie a porovnat ho s doposud používanými technikami. Zároveň bylo snahou, aby tento způsob modelování výroby byl efektivnější než klasický způsob.

V teoretické části práce byl nejprve popsán základní princip pořizování dat technologií laserového skenování. Dále byly ukázány základní druhy laserových skenovacích zařízení a popsány jejich části. Poté byly uvedeny zjištěné oblasti a činnosti, ve kterých se technologie skenování využívá. Následně byl proveden průzkum současného stavu techniky, kdy byla vyhledána zařízení dostupná na současném trhu a byly porovnány ceny a výkony jednotlivých zařízení. V závěrečné části teoretické části pak byly uvedeny techniky a metody skenování, kterých bylo následně využito v praktické části.

V praktické části byl popsán postup a výsledky hledání způsobu využití laserového skenování při modelování výroby. Veškeré obrázky, grafy a zjištěné funkce byly vytvořeny a pořízeny autorem během řešení problému. V úvodu praktické části byla provedena analýza problému před samotným skenováním, ve které byly stanoveny a zajištěny potřebné prostředky pro další pokračování práce. Poté byl popsán postup získávání dat přímo ve výrobní hale a ergonomické laboratoři a následný postup zpracování získaných dat. V další části jsme se již zabývali hledáním způsobu tvorby layoutů výroby pomocí naskenovaných dat. První navrhnutou metodou jsme vytvořili layout výroby, který ovšem neměl dostatečnou vypovídací schopnost. Na základě této metody byla navržena druhá metoda, jejíž výstupy již měly požadovanou použitelnost. Obě tyto metody byly následně porovnány mezi sebou a s doposud používanou metodou. Hodnotila se jak efektivita metod, tak ekonomické faktory. Výsledkem hodnocení pak bylo zvolení druhé metody, která byla efektivnější než doposud používané techniky a než první metoda. V závěrečné části práce pak byly shrnuty výsledky zjištěné v průběhu práce a navrhuta doporučení pro používání technologie skenování.

Byla nalezena vhodná metoda tvorby digitálních modelů výroby pomocí technologie skenování. Tato metoda, i přes své pořizovací náklady a vyšší náročnost na uživatele, je pro tvorbu layoutů výroby efektivnější z důvodu velké úspory času, zejména ve fázi pořizování dat. Finanční úspory, které použitím této technologie získáme, jsou bohužel příliš nízké na to, aby zajistily uspokojivou dobu návratnosti investice. Proto bylo uvedeno doporučení využít skenovací zařízení na další vedlejší služby, díky kterým by se doba návratnosti investice zkrátila na přijatelnou dobu. Hlavní cíle práce byly tedy úspěšně splněny.

## Seznam literárních zdrojů

- [1] - **Šnajdárek, Ladislav.** *Bakalářská práce - Metody 3D laserového skenování obrobků ve výrobním procesu.* Brno : autor neznámý, 2008.
- [2] - **Štroner, Martin a Pospíšil, Jiří.** *Terestrické skenovací systémy. Vydání první.* Praha : ČVUT, 2008. ISBN 978-80-01-04141-3.
- [5] - **Svedberger, Johan a Jonas, Andersson.** *Master of Science Thesis - Laser scanning in manufacturing industries.* Stockholm : autor neznámý, 2013.
- [6] - **Rozsival, Jan.** *Diplomová práce - Využití reverzního inženýrství pro výpočty aerodynamiky automobilu.* Brno : Vysoké učení technické v Brně, 2008.
- [8] - **Shan, Jie a K. Toth, Charles.** *Topographic laser ranging and scanning.* Boca Raton : CRC Press, 2009. ISBN: 978-1-4200-5142-1.
- [10] - **Šmiraus, Michal.** *Diplomová práce - Prostorový laserový skener místa činu, jeho možnosti a porovnání s klasickými metodami kriminalistiky.* Zlín : Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně - Fakulta aplikované informatiky, 2010.
- [14] - **POLCAR, J., GREGOR, M., HOŘEJŠÍ, P., KOPEČEK, P.** Projection of LiDAR Point Cloud Slices to Raster Images as 3D Modelling Underlays. In *Innovation Management and Sustainable Economic Competitive Advantage: From Regional Development to Global Growth.* Madrid: International Business Information Management Association, 2015. s. 2220-2226. ISBN: 978-0-9860419-5-2

## Seznam elektronických zdrojů

- [3] - Laboratory of Photogrammetry. *Fotogrammetrie.* [Online] [Citace: 13. říjen 2015.] <http://lfgm.fsv.cvut.cz/data/vvt/s1/laserteorie3d.pdf>.
- [4] - 3D SCAN. *3D SCAN.* [Online] Solid Vision, s.r.o., 2013. [Citace: 26. Říjen 2015.] <http://www.3d-skenovani.cz/rozdeleni-3d-skeneru>.
- [7] - **Fatka, Pavel.** *KO-KA s.r.o. Projekční a inženýrská kancelář.* [Online] 2005. [Citace: 8. Listopad 2015.] [http://www.ko-ka.cz/cz/Publikace/2011\\_10\\_Laserove\\_skenovani\\_text.pdf](http://www.ko-ka.cz/cz/Publikace/2011_10_Laserove_skenovani_text.pdf).
- [9] - Skenování ve 3D. [Online] ABBAS, a.s., 2011-2015. [Citace: 8. Listopad 2015.] <http://www.skenovani3d.cz/skenovani/kde-skener-vyuzit/archeologie/>.
- [11] - Leica Geosystems. [Online] 2015. [Citace: 9. Listopad 2015.] <http://www.leica-geosystems.com/en/index.htm>.

[12] - FARO technologies. [Online] FARO, 2015. [Citace: 9. Listopad 2015.]  
<http://www.faro.com/>.

[13] Trimble. [Online] 2015. [Citace: 9. Listopad 2015.]  
[http://trl.trimble.com/docushare/dsweb/Get/Document-687693/022516-014D\\_TrimbleTX8\\_DS\\_US\\_0915\\_LR\\_sec.pdf](http://trl.trimble.com/docushare/dsweb/Get/Document-687693/022516-014D_TrimbleTX8_DS_US_0915_LR_sec.pdf).

[15] Görner, T., Hořejší, P., Kurkin, O., VYZTYMDP : Virtuální realita : úvodní úroveň, e-book, ISBN 978-80-87539-07, ZČU 2012

[16] Hořejší, P., Görner, T., Kurkin, O., VYZTYMDP : Virtuální realita : základní úroveň, e-book, ISBN 978-80-87539-07, ZČU 2012

## Zdroje obrázků

[17] – Vertical and Horizontal station. *In: FARO laser scanners* [online]. FARO, 2015. [Citace: 9. Listopad 2015. ]

Dostupné z: [https://doarch332.files.wordpress.com/2013/11/e866\\_faro\\_laser\\_scanner\\_focus3d\\_manual\\_en.pdf](https://doarch332.files.wordpress.com/2013/11/e866_faro_laser_scanner_focus3d_manual_en.pdf)

[18] - 3D select. *In: Paradise* [online]. Paradise, 2015. [Citace: 9. Listopad 2015.]  
Dostupné z: <http://paradise.caltech.edu/~yli/software/pceditor/3dselect2.png>

[19] – Laserový skener. *In: DFK* [online]. Copyright © 2013 DFK Cab. [Citace: 13. Říjen 2015.] Dostupné z: <http://www.dfk.cz/useruploads/images/skener.png>

[20] – FARO edge big. *In: G2 Métric* [online]. G<sup>2</sup>Métric | France © 2016. Copyright. [Citace: 13. Říjen 2015]. Dostupné z: <http://www.g2metric.com/wp-content/uploads/2012/09/FARO-Edge-big.jpg>

[21]-ScanStation P30,P40. *In: Gefos Leica* [online]. Copyright © 2016 GEFOS. [Citace 13. Říjen 2015]. Dostupné z: [http://www.gefos-leica.cz/public/img/produkty\\_leica/cyrax/p30\\_p40/leica\\_scanstation\\_p30\\_-\\_p40\\_150dpi\\_21\\_stin\\_res.png](http://www.gefos-leica.cz/public/img/produkty_leica/cyrax/p30_p40/leica_scanstation_p30_-_p40_150dpi_21_stin_res.png)

[22] – Leica Tripod. *In: Opti-cal* [online]. © 2016 Opti-cal Survey Equipment Ltd. [Citace: 20. Říjen 2015]. Dostupné z: <http://surveyequipment.com/media/catalog/product/cache/1/image/903be06a881aa18fc50d3dc96e8b9fba/1/e/leica-gst120-9-tripod-667301.jpg?1433349236>

- [23] – Square tilt and turn target, Circular tilt and turn target. In: Leica – geosystems [online]. © Leica Geosystems 2016. [Citace: 20. Říjen 2015]. Dostupné z: [http://www.leica-geosystems.be/images/new/base/3x3\\_flatTarget.gif](http://www.leica-geosystems.be/images/new/base/3x3_flatTarget.gif)  
[http://hds.leica-geosystems.com/images/new/base/6circ\\_flatTarget.gif](http://hds.leica-geosystems.com/images/new/base/6circ_flatTarget.gif)  
[http://www.leica-geosystems.be/images/new/base/tt\\_3x3.gif](http://www.leica-geosystems.be/images/new/base/tt_3x3.gif)
- [24] – Scanning Target 46-LZ100. In: SCCS – The surfy equipment company [online]. © 2015 SCCS Survey. [Citace: 20. Říjen 2015]. Dostupné z: [https://www.sccssurvey.co.uk/media/catalog/product/cache/1/image/800x/040ec09b1e35df139433887a97daa66f/S/c/Scanning\\_Target\\_46-LZ100.jpg](https://www.sccssurvey.co.uk/media/catalog/product/cache/1/image/800x/040ec09b1e35df139433887a97daa66f/S/c/Scanning_Target_46-LZ100.jpg)
- [25] – Manufacture scanning. In: Cadalyst [online]. ©2016 Longitude Media, LLC. [Citace: 8. Listopad 2015]. Dostupné z: <http://www.cadalyst.com/files/cadalyst/nodes/2011/13897/0411PP-Cover-conveyor.jpg>
- [26] – EP3. In: The University of Melbourne [online]. [Citace: 8. Listopad 2015]. Dostupné z: <http://blogs.unimelb.edu.au/sciencecommunication/files/2014/10/ep3-side.png>
- [27] – Cross Section. In: Scottish Ten [online]. ©2016 Historic Environment Scotland – Scottish Charity No. SC045925. [Citace: 8. Listopad 2015]. Dostupné z: <http://www.scottishten.org/nl-cross-section2-750-550.jpg>
- [28] – Sloped Field Point Cloud. In: Field Robotics Center [online]. ©2016 Carnegie Mellon University. [Citace: 8. Listopad 2015]. Dostupné z: <http://www.frc.ri.cmu.edu/projects/landingdemo/SlopedField/pointCloud.jpg>
- [29] - Cinese-style brozne lion statue. In: SketchFab [online]. ©2016 SketchFab. [Citace: 8. Listopad 2015]. Dostupné z: <https://d35krx4ujqgbc.cloudfront.net/urls/739388e4985e4eaca57ecea71137862/thumbnails/406f094d45614ce99447849126371468/1024.jpeg>
- [30] – VanSlice. In: The Crash Lab [online]. Copyright © 2003-2016 The Crash Lab, Inc. [Citace: 8. Listopad 2015]. Dostupné z: [http://thecrashlab.com/source\\_files/homeFeatured-vanslice.jpg](http://thecrashlab.com/source_files/homeFeatured-vanslice.jpg)
- [31] – Vizualizace závodu. In: Cyber space and Time [online]. Cyber SPace and Time. [Citace: 22. Březen 2016]. Dostupné z: <https://i.ytimg.com/vi/Iyg8OE5teEQ/maxresdefault.jpg>

