

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ  
ÚSTAV KONSTRUOVÁNÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING  
INSTITUTE OF MACHINE AND INDUSTRIAL  
DESIGN

## TROJROZMĚRNÉ SKENOVACÍ SYSTÉMY THREE-DIMENSIONAL SCANNING SYSTEMS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE  
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

LUKÁŠ WEIDNER

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

Ing. ANETA ZATOČILOVÁ

BRNO 2015



Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav konstruování

Akademický rok: 2014/2015

## **ZADÁNÍ BAKALÁRSKÉ PRÁCE**

student(ka): Lukáš Weidner

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Základy strojního inženýrství (2341R006)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

### **Trojrozměrné skenovací systémy**

v anglickém jazyce:

### **Three-dimensional scanning systems**

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Cílem práce je zpracování přehledu současného stavu poznání v oblasti skenovacích systémů, se zaměřením na laserové a optické 3D skenery a jejich aplikace průmyslu.

Cíle bakalářské práce:

Bakalářská práce musí obsahovat: (odpovídá názvům jednotlivých kapitol v práci)

1. Úvod
2. Analýza problému a cíl práce
3. Přehled současného stavu poznání
4. Diskuze
5. Závěr
6. Seznam použitých zdrojů

Forma práce: průvodní zpráva

Typ práce: rešeršní; Účel práce: vzdělávání

Rozsah práce: cca 27 000 znaku (15 - 20 stran textu bez obrázku).

Zásady pro vypracování práce:

[http://dokumenty.uk.fme.vutbr.cz/BP\\_DP/Zasady\\_VSKP\\_2015.pdf](http://dokumenty.uk.fme.vutbr.cz/BP_DP/Zasady_VSKP_2015.pdf)

Šablona práce: [http://dokumenty.uk.fme.vutbr.cz/UK\\_sablona\\_praci.zip](http://dokumenty.uk.fme.vutbr.cz/UK_sablona_praci.zip)

Seznam odborné literatury:

LUHMANN, Thomas. Close range photogrammetry for industrial applications. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 2010, vol. 65, no. 6, s. 558-569.

LUHMANN, Thomas, et al. Close Range Photogrammetry: Principles, techniques and applications. Dunbeath, Caithness KW6 6EG, Scotland, UK: Whittles Publishing, 2011. Photogrammetric measuring systems, s. 401-438. ISBN 978-184995-057-2.

FREYER, John et al. Applications of 3D Measurement from Images. Loughborough University, UK 2012. s. 312, ISBN: 978-1870325-69-1.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Aneta Zatočilová

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2014/2015.

V Brně, dne 10.11.2014

L.S.

---

prof. Ing. Martin Hartl, Ph.D.  
Ředitel ústavu

---

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.  
Děkan fakulty

---

## **ABSTRAKT**

Tato bakalářská práce se zabývá optickými a laserovými systémy, které se používají v průmyslové praxi. Cílem práce je podat přehled současných systémů určených ke 3D digitalizaci se zaměřením na laserové a optické skenery. Práce obsahuje základní rozdělení 3D skenerů a přehled metod zachycující třetí rozměr a jejich charakteristiku. Dále se práce zabývá konkrétními optickými a laserovými 3D skenery, přičemž poskytuje jejich popis a základní technické specifikace. V neposlední řadě se práce zaměřuje na oblasti využití 3D skenerů.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

3D skener, optické a laserové systémy, kontrola kvality, reverzní inženýrství

## **ABSTRACT**

This bachelor thesis deals with optical and laser systems which are used in industrial practice. The aim is to give an overview of current systems for 3D digitizing with a focus on laser and optical scanners. This thesis contains basic division of 3D scanners and overview of methods capturing the third dimension and their characteristics. Furthermore, the work deals with specific optical and laser 3D scanners while providing their description and basic specifications. Finally, the thesis focuses on areas of application of 3D scanners.

## **KEY WORDS**

3D scanner, laser and optical systems, Quality Control, Reverse Engineering

---



---

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

WEIDNER, L. *Trojrozměrné skenovací systémy*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2015. 49 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Aneta Zatočilová.

---



---

## **PODĚKOVÁNÍ**

Děkuji Ing. Anetě Zatočilové za odborné vedení při psaní této bakalářské práce, věcné připomínky a rady, dále také za věnovaný čas, trpělivost a vstřícnost při konzultacích.

## **ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ**

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně pod vedením Ing. Anety Zatočilové a za použití literatury a internetových zdrojů uvedených v seznamu použitých zdrojů.

V Brně dne .....

.....

podpis

---



**OBSAH**

<b>1 ÚVOD .....</b>	<b>12</b>
<b>2 ANALÝZA PROBLÉMU A CÍL PRÁCE .....</b>	<b>13</b>
<b>3 PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ.....</b>	<b>14</b>
3.1 Rozdělení dle způsobu snímání povrchu .....	14
3.1.1 Kontaktní 3D skenery .....	14
3.1.2 Bezkontaktní 3D skenery.....	14
3.2 Rozdělení dle závislosti na zdroji záření .....	15
3.2.1 Pasivní 3D optické skenery .....	15
3.2.2 Aktivní 3D optické skenery .....	17
3.3 Optické 3D skenery .....	21
3.3.1 ATOS.....	21
3.3.2 Steinbichler COMET.....	25
3.3.3 Skenery Breuckmann.....	27
3.4 Laserové 3D skenery .....	29
3.4.1 Konica Minolta Vivid-9i .....	30
3.4.2 Konica Minolta Range 7.....	31
3.4.3 Nikon XC65Dx.....	32
3.4.4 Leica T-Scan 5.....	33
3.4.5 Creafom Handyscan 700 .....	34
3.4.6 Faro ScanArm.....	35
3.5 Aplikace v průmyslové praxi.....	36
<b>4 DISKUZE .....</b>	<b>38</b>
<b>5 ZÁVĚR .....</b>	<b>40</b>
<b>6 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ .....</b>	<b>41</b>
<b>7 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK, SYMBOLŮ A VELIČÍN.....</b>	<b>47</b>
<b>8 SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>48</b>
<b>9 SEZNAM TABULEK .....</b>	<b>49</b>

## **1 ÚVOD**

Uplynulo přibližně 25 let od doby, kdy byl představen první skener, založen na triangulačních metodách, schopný zachytit trojrozměrný obraz s dostatečným rozlišením. Od té doby technologie 3D skenování výrazně pokročila díky vývoji počítačových technologií, které přináší nové hardwarové možnosti. Dalším neodmyslitelným hnacím pohonem vývoje nových technologií v oblasti 3D skenování je fakt, že výrobní společnosti napříč průmyslovými odvětvími potřebují zařízení, která jim pomohou k zajištění kvality svých produktů a optimalizování výrobního procesu. Právě díky širokému uplatnění skenovacích systémů v praxi, vznikají různé typy skenerů lišící se zejména konstrukcí a způsobem digitalizace.

Tato práce zpracovává přehled rozdělení trojrozměrných skenovacích zařízení a podává informace o základních principech digitalizace. Práce se zaměřuje na optické a laserové 3D skenovací systémy, které jsou dále popsány a rozděleny dle dané kategorie a výrobce skenovacího systému.

## 2 ANALÝZA PROBLÉMU A CÍL PRÁCE

Tato kapitola seznámí čtenáře s pojmem 3D skenovací systém a s hlavními parametry těchto systémů.

### 3D skenovací systém

Obecně platí, že první krok při vytváření 3D modelu spočívá v zachycení geometrie fyzického objektu. Velikost skenovaných objektů může být od malých předmětů velikosti mince až po objekty velikosti budov. Skenované objekty mohou být po dobu skenování v klidu nebo se mohou pohybovat. To podnítilo vývoj odlišných technologií a nástrojů, na jejichž základě jsou 3D skenovací systémy založeny.

3D skener je zařízení schopné zachytit tvar a podobu objektu. Skenery jsou založeny na snímání skenovaného povrchu objektu. Shromážděná data se používají ve fázi rekonstrukce pro získání digitálního modelu objektu [1].

### Hlavní parametry skenerů

#### Přesnost

Přesnost je index udávající odchylku měření, tedy rozdíl mezi reálnou a naměřenou hodnotou [1], [2].

#### Rozlišení

Rozlišení udává nejmenší možnou vzdálenost, při které jsou od sebe dva body zřetelně rozeznatelné [1], [2].

#### Rychlost

Rychlost udává množství bodů získaných během skenování za jednotku času ( $s^{-1}$ ) [1].

#### Flexibilita

Flexibilita je schopnost systému přizpůsobit se při měření různým podmínkám (materiál, velikost skenovaného objektu apod.) [1].

#### Robustnost

Robustnost systému popisuje citlivost na pracovní podmínky, při kterých je systém schopen práce bez ovlivnění výsledku skenování [1].

#### Použitelnost

Použitelnost systému popisuje míru znalosti, které potřebuje uživatel pro práci se skenerem [1].

### Cíl práce:

Cílem práce je zpracování přehledu současného stavu poznání v oblasti skenovacích systémů, se zaměřením na laserové a optické 3D skenery a jejich aplikace v průmyslu.

### 3 PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ

Tato kapitola seznámí čtenáře s několika možnými způsoby rozdělení 3D skenovacích systémů a s metodami, které slouží k získání třetího rozměru. Dále čtenář získá informace o vybraných zařízeních (rozdělených dle jednotlivých výrobců) a nových inovativních technologiích, které tyto zařízení využívají.

#### 3.1 Rozdělení dle způsobu snímání povrchu

##### 3.1.1 Kontaktní 3D skenery

Kontaktní 3D skenovací systémy potřebují ke skenování mechanický kontakt snímače se skenovaným objektem. Jedná se o stacionární 3D skenery, k dispozici jsou zejména dva typy těchto systémů. Souřadnicový měřicí stroj (CMM) a systém s pohyblivým měřícím ramenem. Tyto systémy dosahují přesnosti v řádech setin až tisícín mm, ale mají jen omezené použití kvůli omezenému rozsahu měření a nižší rychlosti skenování v porovnání s bezkontaktními skenery [1],[3],[4].



Obr. 3-1 CMM Helmel Phoenix [5]

##### 3.1.2 Bezkontaktní 3D skenery

Bezkontaktní skenery nepotřebují ke skenování kontakt se skenovanou plochou objektu. Skenování se provádí interakcí mezi zdrojem záření a povrchem skenovaného objektu. V závislosti na tom, zda záření prochází skrze objekt nebo se odráží od jeho povrchu, lze tyto systémy rozdělit do dvou podskupin a to na transmisivní a reflexivní [1],[3],[4].

- **Transmisivní systémy**

Při skenování těmito systémy musí být objekt umístěn mezi emitorem, který ozařuje objekt a mezi přijímačem, který shromažďuje záření zeslabené objektem. Hlavním představitelem této kategorie je průmyslová počítačová tomografie (CT). Záření je

generováno rentgenovou trubicí, přičemž dochází ke srážkám elektronů s konkrétním materiálem. Fotony emitované při nárazu proniknou objektem a jsou zachyceny 2D detektorem jako digitální rentgenový obraz. 3D model je získán na základě sady 2D rentgenových snímků pořízených z různých úhlů. Výhoda těchto systémů spočívá v možnosti digitalizovat i vnitřní geometrii objektu [1].

- **Reflexivní systémy**

Reflexivní systémy využívají ke skenování záření odražené od povrchu objektu pro odhad polohy bodů na povrchu. Tyto systémy se dají dále rozdělit podle typu použitého záření. Optické systémy používají záření o vlnové délce mezi 100 nm a 300  $\mu\text{m}$ . Zatímco neoptické systémy používají jiné vlnové délky záření. Neoptické systémy jsou tvořeny zařízeními na bázi radaru nebo sonaru. Typ používaných vln se velmi liší. Radary používají elektromagnetické mikrovlny, zatímco sonary využívají zvukové nebo ultrazvukové vlny. Oba tyto systémy jsou založeny na měření doby letu emitovaného záření [1].

## 3.2 Rozdělení dle závislosti na zdroji záření

3.2

---

Elektromagnetické záření umožňuje dosáhnout vysoké rychlosti sběru dat a rekonstrukci i velmi velkých objektů, jako jsou krajiny nebo budovy. Další výhodou je použití při skenování křehkých předmětů. V závislosti na zdroji záření lze tyto systémy rozdělit na pasivní a aktivní skenery [1].

### 3.2.1 Pasivní 3D optické skenery

3.2.1

---

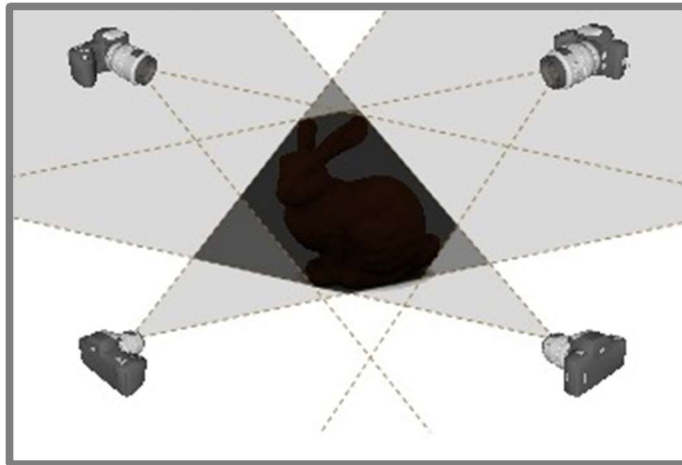
Pasivní skenery nevyzařují žádný druh záření, měří záření odražené od povrchu skenovaného objektu. Obecně jsou tyto skenery založeny na Charge-Coupled Device (CCD) snímači, které používají digitální fotoaparáty. Kamera shromažďuje snímky pořízené z různých úhlů, které jsou následně analyzovány a použity pro vytvoření digitalizovaného modelu. Pasivní optické skenery využívají zejména následující metody [1].

- **Metoda stereovidění**

Skenovací systémy jsou založeny na analýze dvou a více snímků stejného místa objektu pořízených pod různými úhly. Tyto systémy pracují na podobném principu jako lidský zrak, přičemž ke své funkci využívají dvě CCD kamery, jejichž vzájemná vzdálenost je předem definována. Obě z kamer snímají objekt nezávisle jedna na druhé, tak jsou získány dva stereoskopické snímky. Rozhodující je úhel, který je svírán oběma sdruženými paprsky, jedná se o tzv. úhlovou paralaxu. Na základě tohoto úhlu je určena vzdálenost objektu od snímače [1],[6].

- **Metoda získání obrysu ze siluety**

Siluetní systémy vytváří model na základě analýzy obrysu objektu pořízeného z několika různých uhlů. Typický zástupce těchto skenerů se skládá z otočného stolu, kde je skenovaný objekt umístěn na jednotném pozadí, což umožňuje snazší extrakci obrysu a jedné kamery. Zatímco se objekt otáčí, kamera snímá obraz, ze kterého se extrahuje obrys. Každý obrys je zachycen jako kužel promítaných skloněných paprsků záření, ve kterém je obsažen snímáný objekt. Aproximací průsečíků těchto kuželů se určí výsledný obrys objektu [1].



Obr. 3-2 Princip získání obrysu ze siluety [7]

- **Metoda získání tvaru z textury**

Tato metoda je založena na předpokladu, že textura měřeného předmětu je pravidelná a předem známá. Informace o zakřivení povrchu je získána na základě porovnání deformace textury na povrchu předmětu s idealizovanou modelovou texturou [1].

- **Metoda získání tvaru změnou zaostření**

Informace o tvaru předmětu je získána na základě analýzy série snímků stejné oblasti povrchu předmětu pořízených pomocí různých ohniskových vzdáleností [1].

### 3.2.2 Aktivní 3D optické skenery

Aktivní optické skenery využívají k získání třetího rozměru nejčastěji jednu z těchto metod v kombinaci s určitým elektromagnetickým zářením. Jedná se o metodu měření doby letu nebo fázového posunu a aktivní triangulaci [1].

- **Metoda měření doby letu**

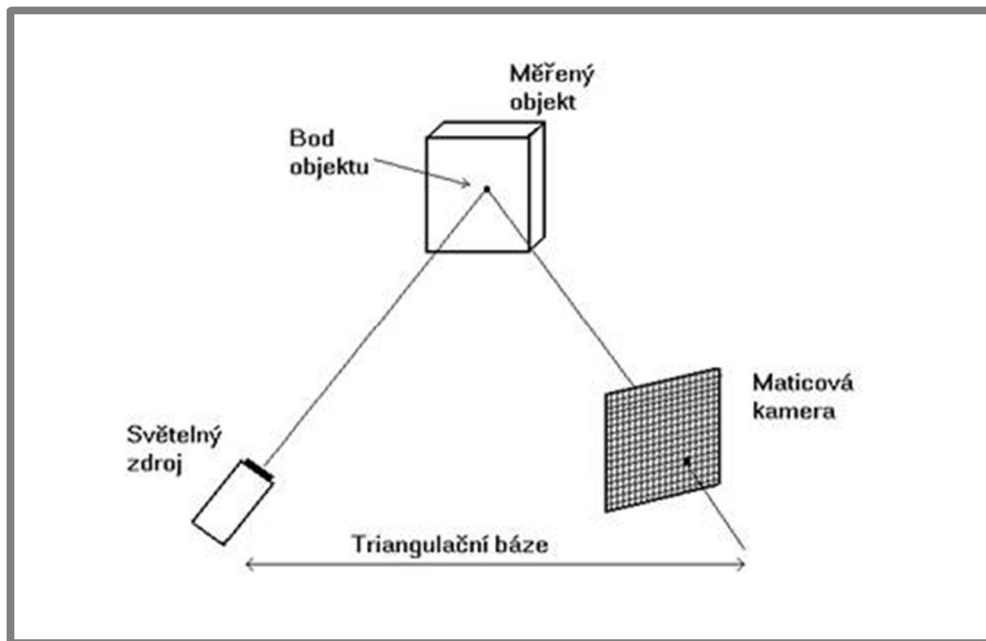
Skenery založené na měření doby letu světla získávají třetí rozměr na základě měření doby letu světla mezi světelným zdrojem a bodem na povrchu skenovaného objektu. Naměřená doba letu je velmi krátká, jelikož měřené dráhy světla jsou ve srovnání s rychlostí světla malé. V závislosti na druhu použitých vln mohou být tato zařízení klasifikována jako optické radary, radary využívající elektromagnetické vlny o nízké frekvenci a sonary využívající zvukové vlny [1],[8].

- **Metoda měření fázového posunu**

Skenery založené na fázovém posunu využívají laserový paprsek, jehož intenzita je sinusově modulována v závislosti na čase. Třetí rozměr je získán z výpočtu vzdálenosti mezi skenerem a objektem. Výpočet vzdálenosti vychází z fázového rozdílu mezi vysílaným a odraženým signálem od objektu. Skenery založené na fázovém posunu obecně dosahují vyšší rychlosti a přesnosti, než skenery pracující na principu měření doby letu [1],[8].

- **Aktivní triangulace**

U aktivních triangulačních systému je povrch snímaného objektu osvětlen koherentním nebo nekoherentním světelným vzorem při současném snímání scény CCD nebo CMOS snímačem. Osvětlený bod na povrchu skenovaného objektu tvoří spolu se snímačem a zdrojem světla tzv. triangulační trojúhelník obr. 3-3. Spojnice mezi světelným zdrojem a snímačem se nazývá triangulační báze nebo základna. Úhel, který je svírán na straně světelného zdroje s triangulační bází, se nemění. Zatímco úhel na straně snímače se mění v závislosti na proměnné pozici osvětleného bodu snímače. Na základě velikosti tohoto úhlu a znalosti triangulační báze se určí z-ová souřadnice měřeného objektu [1],[6],[8].

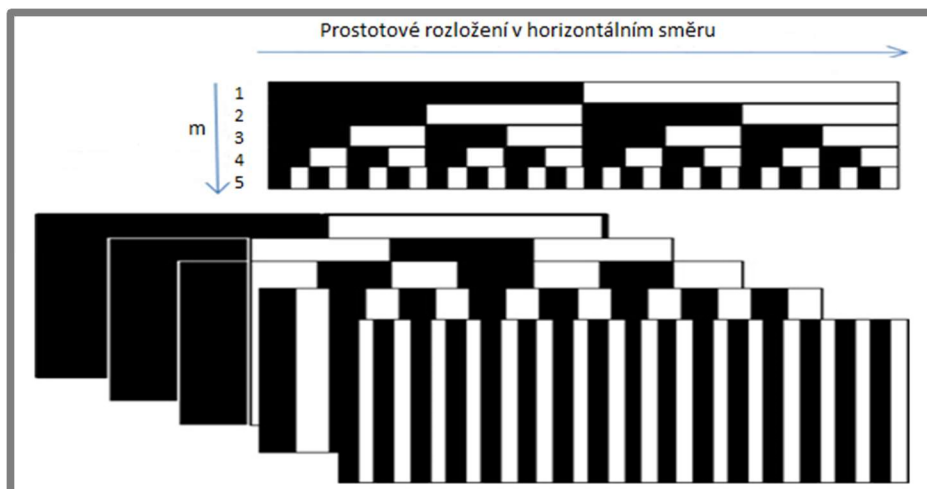


Obr. 3-3 Triangulační trojúhelník [6]

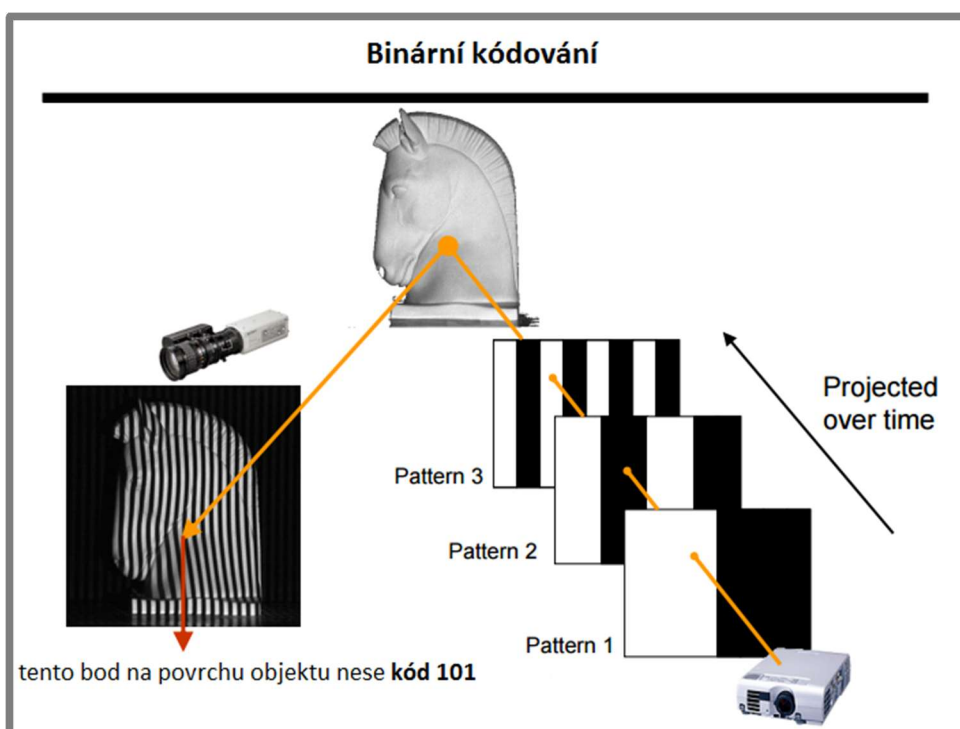
Systémy se liší především v použitém světelném vzoru (laserový paprsek, laserová mřížka nebo složitější strukturované vzory) a ve způsobu snímání (pohyb objektu nebo skeneru). Za účelem zvýšení přesnosti a robustnosti měření byly navrženy specifické metody, které využívají složitějších strukturovaných vzorů k snímání povrchu objektu. Jedná se zejména o metody založené na binárním kódu, šedém kódu a na kombinaci šedého kódu a fázového posunu [1].

#### ▪ Metoda binárního kódu

Tato metoda využívá dvě úrovně osvětlení (tma/světlo), čímž vytváří černobílé pruhy, které jsou kódovány pomocí binárního kódu. V binárním kódu jsou informace zakódované za pomoci číslic 0 a 1. Každý bod promítaného vzoru proto nabývá hodnoty 0 nebo 1 v závislosti na tom, zda je bod prosvícen. Tím vzniká unikátní kód každého vzoru, který je tvořen sekvencí nul a jedniček. Pro tuto metodu je charakteristické, že vzory jsou kódovány pouze ve směru jedné z os. V závislosti na počtu  $m$  vzorů vzniká odpovídající počet oblastí popsaných odlišným binárním kódem. Obr. 2-4 ukazuje pěti bitovou projekci vzoru. Jako první navrhli v roce 1981 metodu projekce  $m$  vzorů pro zakódování  $2^m$  pruhů Posdamer a Altchuler. Metoda binárního kódování je velmi spolehlivá a méně citlivá na vlastnosti povrchu objektu. Nicméně pro dosažení vysokého prostorového rozlišení je třeba promítat velké množství po sobě jdoucích vzorů, což může být časově náročné. Později Inokuchi zavedl šedý kód, jednalo se o modifikaci původního binárního kódu, čímž bylo docíleno větší odolnosti vůči okolnímu šumu [1],[52],[53],[54].



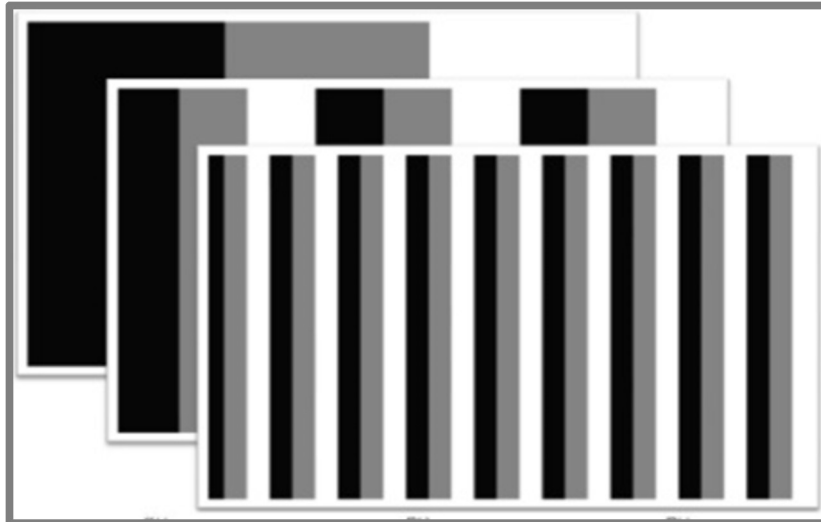
Obr. 3-4 Metoda binárního kódu [53]



Obr. 3-5 Příklad binárního kódování v praxi [54]

- **Metoda n-árního kódu**

Vzory s n-árním kódem vznikly za účelem snížení počtu vzorů používaných u binárního kódování. O vznik n-árního kódu se zasloužil Caspi rozšířením šedého kódu o  $n$  symbolů, přičemž každý symbol je spojen s určitou barvou RGB modelu. Tato modifikace umožnila vzory kódovat ve tvaru  $n^m$  pruhů. Člen  $n$  označuje odlišné úrovně intenzit a index  $m$  udává počet vzorů. Například pokud máme  $n=4$  a  $m=3$  dostáváme 64 různých pruhů. Za použití binárního kódu bychom k dosažení stejné hodnoty potřebovali šesti vzorů [1],[52],[53],[54].



Obr. 3-4 Vzor n-árního kódu [53]

- **Kombinace fázového posunu a šedého kódu**

Kombinace fázového posunu a šedého kódu je založena na projekci sady sinusově modifikovaných binárně kódovaných (šedých) vzorů. Vzory jsou si podobné, kromě toho že jsou vůči sobě posunuty o konstantní úhel. Fázově posunutá projekce přináší vyšší přesnost, ale také jistá omezení. Tato omezení souvisí s rekonstrukcí nerovnoměrného povrchu objektu, kde dochází k ostrým přechodům z černé na bílou, čímž dochází ke vzniku nepřesnosti měření. V roce 2001 Gühring navrhl novou metodu liniového (fázového) posuvu, která má tyto nedostatky eliminovat. Metoda liniového posuvu k projekci využívá černobílých pruhů posunutých vůči sobě o určitou vzdálenost v daném směru, tím ve vzoru vznikají plynulé přechody [1],[52],[53],[54].



Obr. 3-5 Kombinace šedého kódu a fázového posuvu [52]

### 3.3 Optické 3D skenery

Optické skenery provádí snímání objektu pod několika různými úhly pomocí optického zařízení. Skenovaný objekt se umístí na stůl nebo je upevněn do držáku, přičemž projektor osvětluje povrch skenovaného objektu přes vestavěný rastr světelnými proužky, jejichž tvar je na povrchu součásti snímán jednou nebo dvěma kamerami. Pro každý úhel natočení, které se provádí buď ručně, nebo za pomoci polohovacího zařízení, je objekt nasnímán a data jsou odeslána do počítače. Digitalizovaný model je vytvořen zpracováním získané sady snímků, pořízených ze všech úhlů pohledu metodou aproximace. Kvalita digitalizovaných objektů lze ovlivnit především počtem získaných snímků (čím jemnější vzorkování polohy tím vyšší shoda s originálem) [1],[3],[9].

3.3

#### 3.3.1 ATOS

Skenovací systém ATOS firmy GOM je digitální mobilní bezdotykový optický 3D skener, který je na trhu zastoupen ve třech základních řadách, které se liší především zpracováním, velikostí snímání plochy a rozlišením. Jedná se o řady ATOS Compact Scan, ATOS Triple Scan a nejnovější ATOS Core, přičemž každá je k dostání v několika modelech lišící se konfigurací. Skenery jsou založeny na principu triangulace, přičemž využívají stereoeffektu dvou snímacích kamer.

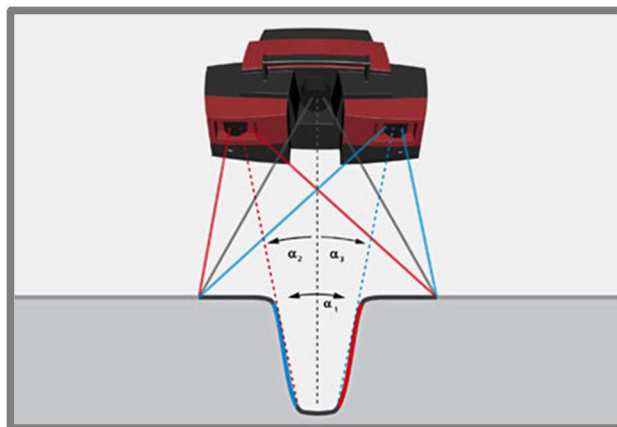
Systémy nachází uplatnění například při kontrole kvality, reverzním inženýrství a rychlé výrobě prototypů.

Zmíněné skenovací systémy jsou vybaveny CCD čipy s rozlišením od 2 000 000 do 16 000 000 obrázkových bodů v jednom snímku, tyto hodnoty rozlišení umožňují přesné měření malých detailů s vyšší rychlostí měření tvarově složitých dílů. Výrazného vylepšení se dosáhlo také v oblasti měření lesklých povrchů.

Skenery využívají Blue Light Technology projekce vzoru na objekt. Jedná se o úzkopásmové modré světlo, které umožňuje přesné měření téměř nezávislé na světelných podmínkách prostředí. Výhoda Blue Light technologie je minimální zahřívání, nízké náklady na údržbu a dlouhá životnost [10],[11],[12],[13],[14].

3.3.1

ATOS Triple Scan a ATOS Core jsou dále vybaveny technologií Triple Scan, která kombinuje stereo kamery s projektorem. V rámci jediného procesu měření dokáží zachytit tři pohledy na objekt. Výhodou této technologie je časově méně náročné skenování [11],[14].



Obr. 3-8 Technologie Triple Scan [14]

### ATOS Compact Scan

ATOS Compact Scan je mobilní bezdotykový optický 3D skener, který nachází uplatnění především při skenování oblastí do  $1200 \text{ mm}^2$ , dále při skenování v úzkých a stísněných prostorách jako jsou interiéry automobilů. Systém je zastoupen ve dvou modelech, lišících se technickými specifikacemi [13].



Obr. 3-9 ATOS Compact Scan 2M [13]



Obr. 3-10 ATOS Compact Scan 5M [13]

Tab. 3-1 Technické specifikace ATOS Compact Scan [13]

	ATOS Compact Scan 2M	ATOS Compact Scan 5M
Rozlišení CCD čipu (px)	2 x 2 000 000	2 x 5 000 000
Plocha měření ( $\text{mm}^2$ )	(40 x 30) – (1000 x 800)	(40 x 30) – (1200 x 900)
Hustota bodů (mm)	(0,02 – 0,62)	(0,01 – 0,48)
Pracovní vzdálenost (mm)	(490 – 2000)	(490 – 2000)

### ATOS Triple Scan

Jedná se o nejvýkonnějšího zástupce systému ATOS, který se nabízí ve třech modelech s rozlišením CCD čipu od pěti megapixelů do šestnácti megapixelů. Mezi hlavní přednosti tohoto skeneru patří flexibilita měření (lze měřit objekty od několika milimetrů až do několika metrů) a vysoké rozlišení až 120 bodů na 1 mm [11],[12].



Obr. 3-11 ATOS II Triple Scan [12]



Obr. 3-12 ATOS III Triple Scan [12]

Tab. 3-2 Technické specifikace ATOS Triple Scan [12]

	ATOS II Triple Scan	ATOS III Triple Scan
Rozlišení CCD čipu (px)	2 x 5 000 000	2 x 8 000 000
Plocha měření (mm <sup>2</sup> )	(38 x 29) – (1500 x 1130)	(38 x 29) – (2000 x 1500)
Hustota bodů (mm)	(0,02 - 0,79)	(0,01 - 0,61)
Pracovní vzdálenost (mm)	(490 – 2000)	(490 – 2000)



Obr. 3-13 ATOS Triple Scan 16M [12]

Tab. 3-3 Technické specifikace ATOS Triple Scan 16M [12]

	ATOS Triple Scan 16M
Rozlišení CCD čipu (px)	2 x 16 000 000
Plocha měření (mm <sup>2</sup> )	(170 x 130) – (810 x 610)
Hustota bodů (mm)	(0,03 – 0,16)
Pracovní vzdálenost (mm)	(440 – 800)

### ATOS Core

System je určený pro měření 3D souřadnic bodů malých a středně velkých objektů. Skener tvoří jádro pro řadu měřicích úloh, jako je 3D skenování, kontrola kvality a plně automatizované měření a inspekce. ATOS Core se vyrábí v řadě provedení, jejichž parametry jsou obsaženy v následující tabulce [15].



Obr. 3-14 ATOS Core [15]

Tab. 3-4 Technické specifikace ATOS Core [15]

ATOS	Core 45	Core 80	Core 135	Core 200	Core 185	Core 300	Core 500
Plocha měření (mm <sup>2</sup> )	(45x 30)	(80 x 30)	(135 x 100)	(200 x 100)	(185 x 100)	(300 x 200)	(500 x 380)
Hustota bodů (mm)	170				250	440	
Pracovní vzdálenost (mm)	0,02 <sup>(1)</sup> 0,03 <sup>(2)</sup>	0,02 <sup>(1)</sup> 0,03 <sup>(2)</sup>	0,03 <sup>(1)</sup> 0,05 <sup>(2)</sup>	0,05 <sup>(1)</sup> 0,09 <sup>(2)</sup>	0,08 <sup>(1)</sup> 0,13 <sup>(2)</sup>	0,07 <sup>(1)</sup> 0,12 <sup>(2)</sup>	0,12 <sup>(1)</sup> 0,18 <sup>(2)</sup>
	<sup>(1)</sup> Hodnota pro 5M Driver						
	<sup>(2)</sup> Hodnota pro 2M Driver						

### 3.3.2 Steinbichler COMET

Výrobce systémů COMET je společnost Steinbichler, jeden z předních světových dodavatelů měřících skenovacích systémů. Steinbichler se v dnešní době na trhu prezentuje mimo jiné optickými systémy COMET 6-16M a COMET L3D. Oba tyto modely využívají projekce modrého světla v kombinaci s technologií ILC (Intelligent Light Control). Jedná se o novou technologii, která umožňuje měnit intenzitu promítaného světla v závislosti na reflexivních vlastnostech povrchu skenovaného objektu. Tím je docíleno rychlého a vysoce přesného skenování např. chromových součástí a plechových dílů [16],[17].

#### COMET 6-16M

Skenovací systém COMET 6-16M je založen na principu aktivní triangulace. Klíčovým prvkem tohoto skeneru je nová výkonná LED projekční jednotka, která se vyznačuje vysokou svítivostí a inovativní projekční optikou. Adaptivní projekce umožňuje měnit intenzitu promítaného světla na povrchu objektu, tím jsou minimalizovány nežádoucí účinky oslnění. Mezi další výhody systému patří flexibilita, která umožňuje uživateli výběr mezi vyšším rozlišením a maximální rychlostí skenování pro dosažení optimálního nastavení pro konkrétní měření [18].



Obr. 3-15 Steinbichler COMET 6–16M [18]

Tab. 3-4 Technické specifikace Steinbichler COMET 6–16M [18]

	COMET 6–16M
Rozlišení (px)	16 000 000
Měřicí objem (mm <sup>3</sup> )	(81 x 54 x 40) – (1235 x 823 x 600)
Vzdálenost mezi body (mm)	(0,016 – 0,252)
Pracovní vzdálenost (mm)	(420 -1400)
Doba měření (s)	1,2

**COMET L3D**

Skener je vhodný pro aplikace v oblasti zajišťování kvality malých a středně velkých plastových nebo kovových dílů. Systém využívá k projekci bezúdržbové LED technologie, která se vyznačuje dlouhou životností. Díky novému inovativnímu LED pulznímu režimu projektoru bylo dosaženo vysokého světelného výkonu, u kterého výrobce zaručuje vynikající výsledky měření nezávislé na okolních světelných podmínkách [19],[20].



Obr. 3-16 Steinbichler COMET L3D [19]

Tab. 3-6 Technické specifikace Steinbichler COMET L3D [19]

	<b>COMET L3D 1M</b>	<b>COMET L3D 2M</b>
Rozlišení (px)	1 000 000	2 000 000
Měřicí objem (mm <sup>3</sup> )	(92x69x60) – (370x277x250)	(100x75x60) – (400x300x250)
Vzdálenost mezi body (mm)	(0,079 – 0,316)	(0,060 – 0,250)
Doba měření (s)	2,5	1,5

Tab. 3-7 Technické specifikace Steinbichler COMET L3D [19]

	<b>COMET L3D 5M</b>	<b>COMET L3D 8M</b>
Rozlišení (px)	5 000 000	8 000 000
Měřicí objem (mm <sup>3</sup> )	(45x38x30) – (480x400x250)	(80x60x40) – (565x425x350)
Vzdálenost mezi body (mm)	0,018 – 0,190	0,024 – 0,172
Doba měření (s)	2	1,7

### 3.3.3 Skenery Breuckmann

Systémy vyráběné firmou Breuckmann GmbH, která patří mezi přední světové výrobce 3D skenerů, využívající vlastní patentované metody proužkové projekce Miniature Projection-Technique (MPT). Od září 2012 patří firma Breuckmann GmbH ke společnosti Aicon 3D Systems GmbH. Aicon 3D Systems je jedním z předních světových dodavatelů optických 3D měřicích kamerových systémů. Firma byla založena v roce 1990, vyvíjí a distribuuje systémy pro oblasti kontroly a zkoušky kvality [21],[22].

#### stereoSCAN-R16

Tento systém se vyznačuje vysokými detaily, rozlišením a přesností měření, která doposud byla dosažitelná pouze pomocí souřadnicových měřicích systémů. StereoSCAN-R16 se skládá ze dvou digitálních kamer o rozlišení 16 megapixelů a projekční jednotky MPT patentované firmou Breuckmann. Asymetricky umístěné kamery vzhledem k projektoru zajišťují vysokou přesnost a flexibilitu měření. Asymetrické nastavení kamer využívá třech triangulačních úhlů 10° ; 20° a 30°. Díky kterým je možno zachytit místa, které jsou běžně těžko dosažitelná [23],[24],[26].



Obr. 3-17 Breuckmann stereoSCAN-R16 [24]

Tab. 3-8 Technické specifikace Breuckmann stereoSCAN-R16 [25]

	<b>stereoSCAN- R16</b>
Rozlišení CCD čipu (px)	2 x 16 000 000
Přesnost (mm)	±0,007
Světelný zdroj	50 W LED (modrá, bílá, červená, zelená) 120 W výbojka
Plocha měření (mm <sup>2</sup> )	(60 x 40) - (930 x 630)
Vzdálenost mezi body (mm)	(0,008 – 0,047)
Pracovní vzdálenost (mm)	(340 – 840)
Doba měření (s)	< 1

**smartSCAN-R8**

Oproti předcházejícímu skeneru stereoSCAN umožňuje smartSCAN-R8 skenovat barevné textury. SmartSCAN umožňuje snímat v rozlišení až 8 000 000 bodů při dosažení vysoké úrovně detailů snímaných objektů. Systém je odolný vůči výkyvům teplot okolí a zaručuje vysokou kvalitu a spolehlivost dat. Konfiguraci tohoto systému lze přizpůsobit, aby splnila požadavky dané úlohy. Výměnou objektivu lze změnit velikost zorného pole, skener je dostupný se zornými poli od (65 x 50) mm do (1065 x 870) mm s rozlišitelnosti detailů od 0,010 mm a přesností snímání od  $\pm 0,006$  mm. SmartSCAN je vhodný pro použití v oborech, které mají náročnější požadavky na rozlišení, tj. například reverzní inženýrství nebo kontrola kvality. Díky možnosti volby LED diod (modrá, bílá, zelená a červená) je pro každý typ povrchu dostupné vhodné osvětlení [27],[28],[29].



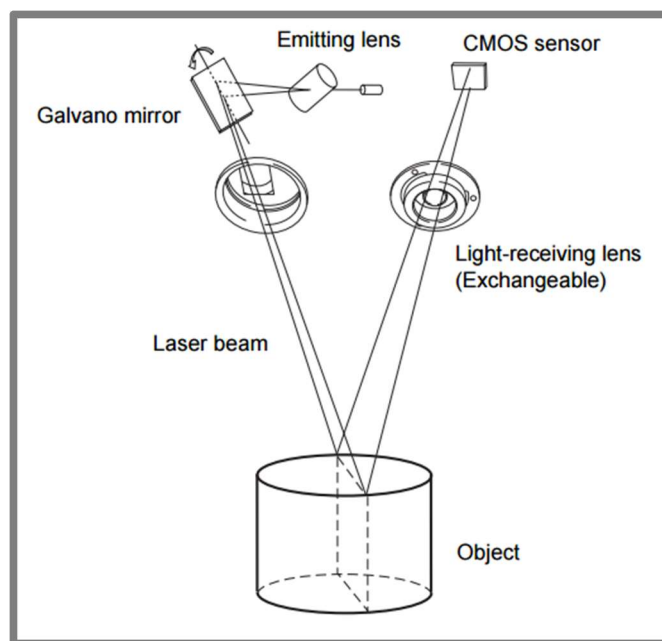
Obr. 3-18 Breuckmann smartSCAN-R8 [29]

Tab. 3-9 Technické specifikace Breuckmann smartSCAN-R8 [28]

	smartSCAN - R8
Rozlišení CCD čipu (px)	2 x 8 000 000
Přesnost (mm)	$\pm 0,006$
Plocha měření (mm <sup>2</sup> )	(65 x 50) – (1065 x 870)
Vzdálenost mezi body (mm)	od 0,01
Pracovní vzdálenost (mm)	(370 – 1000)
Doba měření (s)	< 1

### 3.4 Laserové 3D skenery

Jedná se o bezkontaktní skenovací zařízení, které skenují vnější povrch za pomoci laserového paprsku. Princip skenování spočívá v emitování horizontálního paprsku světla laserovou diodou, světlo následně prochází přes válcovou čočku, po průchodu válcovou čočkou je paprsek světla odražen od zrcátka a dopadá na povrch objektu, kde se odráží do objektivu. Světlo odražené do objektivu je přijímáno snímačem. Poté je za pomoci triangulace nebo za pomoci vyhodnocení doby letu paprsku získána informace o vzdálenosti objektu a jeho geometrii. Informace o zakřivení povrchu vyplývá z úhlu, pod kterým se paprsek vrací zpět do skeneru. Výslednou kvalitu digitalizovaného předmětu ovlivňuje hustota, kterou paprsek laseru pokrývá plochu skenovaného předmětu. V porovnání s optickými skenery dokáží laserové skenery bez problému rozpoznat nejrůznější výstupky, prohlubně a neprůchozí otvory. Výhodou laserových skenovacích systémů je jejich vysoká přesnost a široké uplatnění v praxi [1],[3],[30].



Obr. 3-19 Princip skenování laserovým 3D skenerem [31]

### 3.4.1 Konica Minolta Vivid-9i

Laserový skener Vivid-9i je vyráběn společností Konica Minolta, která má téměř dvacetiletou tradici v oblasti vývoje skenovacích systémů. Jedná se o bezkontaktní skener založený na principu laserové triangulace vybaven CCD snímačem o rozlišení (640 x 480) px. Skener je mimo jiné vybaven LCD displejem, na kterém je možno sledovat průběh skenování a měnit jeho nastavení. Vivid-9i umožňuje skenování malých i velkým součástí, díky možnosti volby mezi třemi objektivy, které se navzájem liší ohniskovou vzdáleností (TELE  $f=25\text{mm}$ , MIDDLE  $f=14\text{mm}$ , WIDE  $f=8\text{mm}$ ).

Mezi hlavní výhody skeneru Vivid-9i patří vysoká přesnost a rychlost skenování, která se pohybuje od 0,3 do 2,5 sekundy v závislosti na zvoleném režimu skenování. Uplatnění systém nachází například při rozměrové a tvarové kontrole kovaných a lisovaných dílů v automobilovém průmyslu [32],[33],[34].



Obr. 3-20 Konica Minolta Vivid-9i [33]

Tab. 3-10 Technické specifikace Konica Minolta Vivid-9i [32]

	<b>Konica Minolta Vivid-9i</b>
Rozlišení CCD čipu (px)	340 000
Přesnost (mm)	$\pm 0,05$
Rozsah měření v ose X (mm)	TELE (93 – 463) MIDDLE (165 – 823) WIDE (299 – 1495)
Rozsah měření v ose Y (mm)	TELE (69 – 347) MIDDLE (124 – 618) WIDE (224 – 1121)
Rozsah měření v ose Z (mm)	TELE (26 – 680) MIDDLE (42 – 1100) WIDE (66 – 1750)
Pracovní vzdálenost (mm)	(50 – 2500)
Doba skenování (s)	2,5

### 3.4.2 Konica Minolta Range 7

Bezkontaktní skener Konica Minolta Range 7 navazuje na modely řady Vidid, skener je založen na principu triangulace. Range 7 je vhodný k digitalizaci vnějších profilů různých průmyslových součástí jakou jsou např. obráběné plechové součásti, odlitky a vstříkované plastové díly.

Skener je vybaven funkcí automatického zaostřování, která nabízí režim multi-focus, který automaticky posouvá pozici zaostřování, aby získal přesnější a ostřejší naměřená data. To je zvláště efektivní pro měření hlubokých předmětů.

Range 7 je dále vybaven funkcí pro měření tmavých povrchových vrstev, která umožňuje měření součástí s nízkou reflexní schopností povrchu. Proto není potřeba před samotným skenováním aplikovat na povrch součásti zvláštní přípravky usnadňující měření. Tím je eliminována chyba, která může vzniknout nanesením nesouměrné vrstvy [35],[36].



Obr. 3-21 Konica Minolta Range 7 [36]

Tab. 3-11 Technické specifikace Konica Minolta Range 7 [31]

	<b>Konica Minolta Range 7</b>	
Rozlišení CMOS čipu (px)	1 310 000	
Přesnost (mm)	± 0,04	
Rozsah měření v ose X (mm)	TELE	(79 – 141)
	WIDE	(150 – 267)
Rozsah měření v ose Y (mm)	TELE	(99 – 176)
	WIDE	(188 – 334)
Rozsah měření v ose Z (mm)	TELE	(54 – 194)
	WIDE	(54 – 194)
Pracovní vzdálenost (mm)	(450 – 800)	
Doba měření (s)	2	

### 3.4.3 Nikon XC65Dx

Nikon XC65Dx je laserový křížový skener používaný v kombinaci s CMM. Skener je tvořen třemi CMOS senzory a třemi samostatnými laserovými zdroji, které vytváří při skenování laserový kříž. Během procesu skenování je objekt současně snímán ze třech různých pohledů. Tím je zajištěno časově efektivní a velice přesné skenování a to i složitých tvaru a konstrukčních prvků (vrtané díry, zahloubení, žebra apod.).

Oproti předchozím modelům je model XC65Dx vybaven novou CMOS kamerou, díky které se ztrojnásobila frekvence snímání a tím se zvýšila rychlost sběru dat.

Skener využívá třetí generaci technologie Performance Enhanced Sensor (ESP3). Tato technologie umožňuje účinně skenovat různě barevné a reflexivní povrchy, tím že automaticky v reálném čase mění nastavení každého ze tří laserových zdrojů samostatně a tím je ovlivněna intenzita emitovaného laserového pruhu. Tento skener je zvláště vhodný pro skenování křehkých předmětů. Dotyková inspekce může povrch skenované součásti poškodit, nebo na něm zanechat škrábance. Vzhledem k tomu, že Nikon XC65Dx je bezkontaktní skener, eliminuje se toto riziko na minimum [37],[38],[39].



Obr. 3-22 Nikon XC65Dx [38]

Tab. 3-12 Technické specifikace Nikon XC65Dx [38]

	<b>Nikon XC65Dx</b>
Rychlost skenování ( px·s <sup>-1</sup> )	3 x 25 000
Přesnost (mm)	0,009
Šířka záběru (mm)	3 x 65
Hloubka záběru (mm)	3 x 65
Pracovní vzdálenost (mm)	75
Rozměry (mm)	(155 x 86 x 142)
Hmotnost (g)	440

### 3.4.4 Leica T-Scan 5

T-Scan 5 je ruční vysokorychlostní skener vyráběn firmou Leica Geosystems. V porovnání s předchozí generací zařízení přináší více než desetkrát vyšší rychlost skenování a dvounásobnou pohotovostní vzdálenost, čímž je zajištěn efektivnější sběr dat i na obtížně přístupných místech. Skener využívá technologii Flying Dot (plovoucího bodu), která umožňuje automatizované skenování nastavením výkonu laseru v závislosti na konkrétním typu povrchu. Tím, že se automaticky přizpůsobuje intenzita laseru tmavým matovaným nebo kovově lesklým povrchům, je odstraněna potřeba nastavení laseru ze strany operátora, čímž je dosaženo rychlejšího a přesnějšího měření. Mezi hlavní výhody laserového skeneru Leica T-Scan 5 patří rychlá detekce malých detailů a rychlost snímání 210 000 bodů za sekundu [40],[41],[42].



Obr. 3-23 Leica T-Scan 5 [40]

Tab. 3-13 Technické specifikace Leica T-Scan 5 [41]

	<b>Leica T-Scan 5</b>
Rychlost skenování ( px·s <sup>-1</sup> )	210 000
Přesnost (mm)	0,02
Plocha měření (mm <sup>2</sup> )	(275 x 250)
Hloubka záběru (mm)	200
Pracovní vzdálenost (mm)	86
Hmotnost (g)	1080

### 3.4.5 Creaform Handyscan 700

Creaform Handyscan 700 je nejnovějším přírůstkem do nové generace ručních skenerů vyráběných firmou Creaform3D. Jedná se o jeden z nejpůlárnějších 3D skenerů. Tímto zařízením lze snadno skenovat jakýkoliv typ fyzického objektu, poskytuje spolehlivé a přesné výsledky. Handyscan 700 nachází uplatnění v oblasti vývoje, řízení a kontroly kvality, kontroly rozměrů a tolerancí. Model je vybaven dvěma kamerami, které jsou schopné zachytit až 60 snímků za sekundu. Pro snímání povrchu využívá skener sedm laserových křížů najednou, dále je skener opatřen jedním přídavným laserovým paprskem, který usnadňuje skenování úzkých a těžko přístupných míst. Mezi hlavní výhody tohoto skeneru patří přesnost 0,030 mm a rychlost skenování až 480 000 bodů za sekundu. Jeho rychlý diagnostický systém dokáže rozpoznat problémy, jako jsou nejrůznější deformace, staženiny v tepelných uzlech odlitků a další vady vzniklé během výrobního procesu [43],[44],[45].



Obr. 3-24 Creaform Handyscan 700 [45]

Tab. 3-14 Technické specifikace Creaform Handyscan 700 [45]

	<b>Creaform Handyscan 700</b>
Rychlost skenování ( px·s <sup>-1</sup> )	480 000
Přesnost (mm)	0,03
Šířka záběru (mm)	100
Hloubka záběru (mm)	250
Pracovní vzdálenost (mm)	300
Hmotnost (g)	850

### 3.4.6 Faro ScanArm

Jedná se se o mobilní měřicí stroje, jinak známé jako měřicí ramena Faro ScanArm, umožňující jak kontaktní, tak i bezkontaktní skenování. Tyto měřicí ramena jsou vyráběna největším výrobcem mobilních souřadnicových strojů na světě společností FARO Technologies Inc.

V současné době jsou na trhu tři modely výrobní řady ScanArm, jmenovitě jsou to modely Faro Edge ScanArm HD, FARO Edge ScanArm ES a Faro ScanArm V3. Jednotlivé modely se liší zejména přesností, rychlostí skenování a typem ramena. Nejpřesnější a zároveň nejrychlejší model dosahuje přesnosti měření 0,025 mm při rychlosti snímání 560 000 bodů za sekundu. Modely Edge ScanArm HD a ES využívají technologii modrého laseru, která umožňuje skenování reflexních povrchů bez nutnosti aplikace zmatňujících přípravků na skenovaný povrch. Model ScanArm V3 využívá při skenování červený laser. Pro všechny zmíněné modely platí, že ke skenování nepotřebují žádné další speciální příslušenství, jako jsou zaměřovací terčíky, externí elektronika ani další kabely, které by omezovaly pohyb měřicího ramene.

Modely řady ScanArm kombinují výhody měřících ramen FaroArm vybavených kontaktní měřicí sondou s ručními laserovými skenery. Díky tomu je možné zvolit mezi dvěma způsoby měření v závislosti na konkrétních požadavcích. Zmíněné skenery jsou ideální pro aplikace vyžadující kombinaci kontaktního a bezkontaktního měření, zahrnující inspekci a porovnání s CAD daty, dále pro výrobu prototypů a reverzní inženýrství [46],[47].



Obr. 3-25 FARO ScanArm V3 [46]



Obr. 3-26 FARO Edge ScanArm ES [46]

Tab. 3-15 Technické specifikace Faro ScanArm [48],[49]

	<b>FARO ScanArm V3</b>	<b>FARO Edge ScanArm ES</b>
Rychlost skenování ( px·s <sup>-1</sup> )	19 200	45 120
Přesnost (mm)	± 0,035	± 0,035
Hloubka záběru (mm)	(34 – 60)	(53 – 90)
Pracovní vzdálenost (mm)	95	80
Hmotnost (g):	370	222,4



Obr. 3-27 FARO Edge ScanArm HD [46]

Tab. 3-16 Technické specifikace FARO Edge ScanArm HD [50]

	<b>FARO Edge ScanArm HD</b>
Rychlost skenování ( px·s <sup>-1</sup> )	560 000
Přesnost (mm)	± 0,025
Hloubka záběru (mm)	(80 – 150)
Pracovní vzdálenost (mm)	115
Hmotnost (g):	485

### 3.5 Aplikace v průmyslové praxi

#### Kontrola kvality výrobků

Díky výše uvedeným zařízením lze v praxi rychle a efektivně změřit výrobek a následně ho porovnat s referenčním modelem. Na základě získaných údajů je výrobek kvalitativně zhodnocen. Využití 3D skenerů při kontrole výrobků zahrnuje velké množství odvětví. Například kontrolu odlitků, vylisků, výrobků, prototypů, ale i součástek vyrobených na CNC frézách a podobně [8].

#### Reverzní inženýrství

Jedná se o proces zpětné analýzy, jehož cílem je získat např. informace o principu funkce předmětu podrobeného zpětné analýze. V průmyslové praxi se převážně jedná o potřebu získat z reálné součásti data potřebná ke zhotovení chybějící výrobní dokumentace nebo počítačového modelu. Základem při většině moderních technik reverzního výrobního procesu je změření součástky a následné vytvoření trojrozměrného modelu v počítači. Nejrychlejším způsobem je právě využití 3D skenovacích technologií [8],[51].

### **Měření opotřebení a deformací namáhaných částí**

Skenery v tomto případě slouží jako nástroj pro získání potřebných dat pro simulace a analýzy např. simulace silového zatížení, teplotních analýz, analýz vibrací, aerodynamiky a podobně. V praxi se jedná o měření lopatek vodních turbín. V takovém případě i malé odchylky na lopatkách turbíny mohou způsobit nežádoucí vibrace při rotačním pohybu. Právě díky 3D skenování lze vytvořit reálný model zařízení ve virtuálním prostoru a předem otestovat, jak se takové zařízení bude chovat [8].

### **Vývoj**

Technologie 3D skenování umožňuje spojit původní technologie vytváření prototypů s novými moderními postupy. Výhodou 3D skenovacích metod v oblasti vývoje je využití zavedených postupů, jako například vytváření hliněných modelů běžně používaných v automobilovém průmyslu, z nichž jsou následně za použití 3D skeneru vytvořeny počítačové modely. S tímto modelem lze následně provádět podobné operace jako v předchozích případech, počínaje různými měřeními, simulacemi, analýzami až po případné úpravy modelu pomocí CAD systémů. Tento postup značně usnadňuje některé kroky v procesu vývoje prototypu, čímž zkracuje čas potřebný pro zavedení výrobku do výroby [8].

## 4 DISKUZE

S ohledem na mnohé technologie trojrozměrného měření a digitalizace nabízí trh se 3D skenovacími systémy širokou škálu skenovacích zařízení využívající proužkovou, nebo laserovou projekci. Je však důležité, uvědomit si řadu základních rozdílů mezi těmito dvěma typy systémů, ať už jde o přesnost dat nebo možnosti jejich využití.

Optické skenovací systémy využívající proužkovou projekci, jsou schopné v porovnání s laserovými 3D skenery skenovat větší plochu, také v současné době dosahují vyšší přesnosti. Jedním z faktorů zlepšující přesnost je právě projekce složitějších strukturovaných vzorů, založených na metodách kódování světla, které jsou popsány v *podkapitole 3.2.2*. Optické skenery jsou oproti laserovým skenerům vhodnější pro měření v uzavřených prostorech, kde je možné kontrolovat a případně regulovat světelné podmínky. Výhodou laserových skenerů je menší náchylnost vůči světelným podmínkám. To je jeden z možných důvodů, proč jsou laserové skenery vhodnější k práci v dílenském prostředí a proč jsou na trhu zastoupeny v různých provedeních od laserových hlav, ručních skenerů až po skenery vyžadující k práci stojan.

Z optických 3D skenovacích systémů se na základě získaných informací jako nejlepší skener jeví stereoSCAN-R16 od firmy Breuckmann respektive Aicon. Hlavní výhody tohoto systému, v porovnání se systémy ATOS Triple Scan 16M (GOM) a COMET 6-16M (Steinbichler), jsou přesnost, asymetrické nastavení kamer se třemi triangulačními úhly a možnost volby světelného zdroje. Avšak systém COMET 6-16M umožňuje skenovat z větší pracovní vzdálenosti a nabízí větší měřící objemy. Nevýhodou systému COMET 6-16M je, že je vybaven jednou kamerou o rozlišení 16 megapixelů, kdežto systémy stereoSCAN a ATOS Triple Scan jsou vybaveny dvěma kamerami se stejným rozlišením. Mezi společné znaky zmíněných systémů patří možnost výměny objektivu pro přizpůsobení systému dané měřící úloze.

Firma Aicon dne 5. 5. 2015 představila nový stereoSCAN neo. Nový model je unikátní v tom, že je vybaven novou adaptivní barevnou projekční technologií. Tato technologie mění barvu promítaného vzoru a přizpůsobuje jeho intenzitu na základě povrchových vlastností skenovaného objektu (viz.[55]). Podobnou technologii s názvem Intelligent Light Control (ILC) představila tento rok firma Steinbichler. Avšak technologie ILC nedokáže měnit barvu promítaného vzoru a lze využít pouze v kombinaci s jednou kamerou. Kdežto nový model stereoSCAN neo vybaven adaptivní barevnou projekční technologií využívá dvě kamery s rozlišením 16 megapixelů. Systém je dále vybaven technologií zpětné projekce „See What You Measure“, která umožňuje vizualizaci výsledků měření, tedy odchylek od CAD modelu přímo na skenovaném objektu. Model stereoSCAN neo má v porovnání s modelem stereoSCAN-R16 nižší přesnost (0,012 mm vs. 0,007 mm).

Zařízení popsaná v kapitole 3.4 se liší především konstrukčním provedením a využitím. Skenery Range 7 a Vivid-9i vyráběné firmou Konica Minolta využívají při skenování stativ. Jejich výhodou je mobilita a velká pracovní vzdálenost, ze které dokáží účinně skenovat, v porovnání s laserovou hlavou Nikon XC65Dx a měřícími rameny Faro ScanArm, jelikož samotný skener není vázán k žádnému dalšímu zařízení. Měřící ramena Faro ScanArm mají oproti všem zmíněným skenerům výhodu v možnosti kombinování kontaktního a bezkontaktního snímání povrchu objektu. Co se týče ručních laserových skenerů T- Scan 5 (Leica) a Handyscan 700 (Creaform) jejich výhodou je mobilita a malé rozměry umožňující skenování v obtížně přístupných místech. Nevýhodou ručních skenerů je časová náročnost skenování větších dílů a potřeba jistých zkušeností operátora, aby nedocházelo k nepřesnostem měření vlivem lidského faktoru.

## **5 ZÁVĚR**

Cílem práce bylo zpracování přehledu současného stavu poznání v oblasti skenovacích systémů, se zaměřením na laserové a optické 3D skenery a jejich aplikace průmyslu. Tyto systémy se staly nedílnou součástí strojírenství, zejména díky jejich všestrannému využití a přesnosti měření. Faktem je, že díky těmto systémům dochází ke zkrácení výrobního procesu se zajištěním požadované kvality.

Práce by měla poskytnout čtenáři základní přehled o rozdělení 3D skenovacích systémů a metodách, které tyto systémy využívají k získání třetího rozměru. Práce dále popisuje základní princip funkčnosti optických a laserových skenerů. Na základě informací o jednotlivých zařízeních bylo provedeno vyhodnocení a porovnání jednotlivých skenerů.

Co se týče technologie 3D skenování jedná se o poměrně novou technologii (25 let), nicméně stále rychleji se vyvíjející. Vzhledem ke konkurenci jednotlivých společností zabývajících se výrobou 3D skenovacích systémů, jsou téměř každý rok představeny nové modely spolu s novými inovativními technologiemi. Rychlý rozvoj těchto technologií potvrzuje potenciál 3D skenovacích systému, jelikož vývoj je financován především ze strany výrobců z oblasti leteckého a automobilového průmyslu.

**6 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ**

- [1] BELLOCCHIO, Francesco. *3D Surface Reconstruction: Multi-Scale Hierarchical Approaches* [online]. New York: Springer, c2013, s. 21-42 [cit. 2015-02-17]. ISBN 978-146-1456-322. Dostupné z: <http://link.springer.com/book/10.1007%2F978-1-4614-5632-2>
- [2] 3D Laser Scanner. *3d Scanners and 3d Scanning Technology* [online]. 2010, 11. 7. 2010 [cit. 2015-04-10]. Dostupné z: <http://www.3ddigitalcorp.com/3d-laser-scanner.html>
- [3] Digitalizace - její princip a rozdělení. *Nejčtenější strojírenský časopis - MM spektrum* [online]. 2004, 16. 6. 2004 [cit. 2015-04-12]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/digitalizace-jeji-princip-a-rozdeleni.html>
- [4] TÓTH, Teodor a Jozef ŽIVČÁK. A Comparison of the Outputs of 3D Scanners. *Procedia Engineering*. 2014, roč. 69, s. 393-401. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.proeng.2014.03.004>. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705814002501>
- [5] High-precision coordinate measuring machine (CMM). *DirectIndustry* [online]. 2004, 9. 8. 2004 [cit. 2015-04-11]. Dostupné z: [http://www.directindustry.com/prod/helmel-engineering-products/high-precision-coordinate-measuring-machine-cmm-26850-62008.html#product-item\\_219819](http://www.directindustry.com/prod/helmel-engineering-products/high-precision-coordinate-measuring-machine-cmm-26850-62008.html#product-item_219819)
- [6] KÁLOVÁ, Ilona. Optické metody měření 3D objektů. *Elektrorevue* [online]. 2005, 12. 4. 2005 [cit. 2015-04-10]. Dostupné z: <http://www.elektrorevue.cz/clanky/05023/index.html#kap1>
- [7] LANMAN, Douglas. BROWN UNIVERSITY. *Build Your Own 3D Scanner: 3D Photography for Beginners* [online]. 2009, 5.8.2009 [cit. 2015-04-12]. Dostupné z: <http://mesh.brown.edu/byo3d/slides.html>
- [8] Trojrozměrové skenovací systémy. *Strojárstvo / Strojírnoství - prvý strojársky server* [online]. 2012, 3. 4. 2012 [cit. 2015-04-12]. Dostupné z: <http://www.engineering.sk/index.php/clanky2/stroje-a-technologie/912-trojrozmerove-skenovacie-systemy>
- [9] NAVRÁTIL, Robert. Principy digitalizace. *Reverse Engineering* [online]. 2002, 1. 2. 2002 [cit. 2015-04-10]. Dostupné z: <http://robo.hyperlink.cz/3dskeneru/main03.html>

- [10] JOSEF, Mačák. Optický skener ATOS. *MCAE Systems - 3D Digitální technologie* [online]. 2008, 13. 6. 2008 [cit. 2015-04-10]. Dostupné z: <http://www.mcae.cz/data/files/atos-final-25.pdf>
- [11] MCAE SYSTEMS. ATOS Triple Scan. *MCAE Systems - 3D Digitální technologie* [online]. 2011, 4. 6. 2011 [cit. 2015-04-10]. Dostupné z: <http://www.mcae.cz/atos>
- [12] GOM. ATOS Triple Scan. *GOM: Optical Measuring Techniques* [online]. 2010, 2. 12. 2010 [cit. 2015-04-10]. Dostupné z: <http://www.gom.com/metrology-systems/system-overview/atos-triple-scan.html>
- [13] GOM. ATOS Compact Scan. *GOM: Optical Measuring Techniques* [online]. 2011, 30. 11. 2011 [cit. 2015-04-10]. Dostupné z: <http://www.gom.com/metrology-systems/system-overview/atos-compact-scan.html>
- [14] GOM. ATOS Core - Funkce. *ATOS Core* [online]. 2014, 1. 9. 2014 [cit. 2015-04-17]. Dostupné z: <http://www.atos-core.com/cz/features.php>
- [15] MCAE SYSTEMS. ATOS Core. *MCAE Systems - 3D Digitální technologie* [online]. 2013, 23. 7. 2013 [cit. 2015-04-10]. Dostupné z: <http://www.mcae.cz/atos-core>
- [16] STEINBICHLER OPTOTECHNIK. Company Steinbichler. *3D Scanning Steinbichler* [online]. 2005, 20. 3. 2005 [cit. 2015-04-12]. Dostupné z: <http://www.steinbichler.com/company>
- [17] STEINBICHLER OPTOTECHNIK. Intelligent 3D digitization. *3D Scanning Steinbichler* [online]. 2015, 10. 3. 2015 [cit. 2015-04-10]. Dostupné z: <http://www.steinbichler.com/news/intelligent-3d-digitization>
- [18] STEINBICHLER OPTOTECHNIK. COMET 6. *3D Scanning Steinbichler* [online]. 2013, 6. 5. 2013 [cit. 2015-04-10]. Dostupné z: <http://www.steinbichler.com/products/3d-scanning/comet-6>
- [19] STEINBICHLER OPTOTECHNIK. COMET L3D. *3D Scanning Steinbichler* [online]. 2014, 3. 11. 2014 [cit. 2015-04-10]. Dostupné z: <http://www.steinbichler.com/products/3d-scanning/comet-l3d>
- [20] NMS SLOVAKIA. Steinbichler Comet L3D. *Noncontact measuring systems* [online]. 2012, 23. 12. 2012 [cit. 2015-04-16]. Dostupné z: <http://www.sk.nms-int.com/produkty/steinbichler-comet-led/>

- [21] PRIMA BILAVČÍK. Breuckmann GmbH. *Přístroje pro měření a metrologii PRIMA BILAVČÍK* [online]. 2011, 22. 5. 2011 [cit. 2015-04-10]. Dostupné z: <http://www.merici-pristroje.cz/breuckmann-gmbh/>
- [22] AICON 3D SYSTEMS. About us. *AICON 3D Systems* [online]. 2013, 9. 7. 2013 [cit. 2015-04-14]. Dostupné z: <http://aicon3d.com/about-us.html>
- [23] PRIMA BILAVČÍK. 3D skenery Breuckmann. *Přístroje pro měření a metrologii PRIMA BILAVČÍK* [online]. 2011, 22. 5. 2011 [cit. 2015-04-10]. Dostupné z: <http://www.merici-pristroje.cz/clanky/detail/specialista-na-3d-optickou-merici-techniku.htm>
- [24] AICON 3D SYSTEMS. Breuckmann stereoSCAN. *AICON 3D Systems* [online]. 2013, 14. 5. 2013 [cit. 2015-04-14]. Dostupné z: <http://aicon3d.com/products/breuckmann-scanner/smartsan/at-a-glance.html>
- [25] BREUCKMANN. Data Sheet stereoSCAN R16. *EOTECH* [online]. 2014, 8. 4. 2014 [cit. 2015-04-14]. Dostupné z: [http://www.eotech.fr/Fiches/produits/35\\_Datasheet\\_stereoSCAN\\_R16\\_07\\_2014.pdf](http://www.eotech.fr/Fiches/produits/35_Datasheet_stereoSCAN_R16_07_2014.pdf)
- [26] BREUCKMANN. StereoSCAN. *AICON 3D Systems* [online]. 2014, 31. 1. 2014 [cit. 2015-04-14]. Dostupné z: [http://www.aicon3d.com/fileadmin/user\\_upload/produkte/en/breuckmann\\_Scanner/stereoSCAN/pdf/Brochure\\_breuckmann\\_stereoSCAN\\_EN.pdf](http://www.aicon3d.com/fileadmin/user_upload/produkte/en/breuckmann_Scanner/stereoSCAN/pdf/Brochure_breuckmann_stereoSCAN_EN.pdf)
- [27] PRIMA BILAVČÍK. Nový 3D skener smartSCAN R8. *Přístroje pro měření a metrologii PRIMA BILAVČÍK* [online]. 2014 [cit. 2015-04-10]. Dostupné z: <http://www.merici-pristroje.cz/novinky/detail/novy-3d-skener-smartsan-r8.htm>
- [28] PRIMA BILAVČÍK. Přístroje pro měření a metrologii 2015. *Přístroje pro měření a metrologii PRIMA BILAVČÍK* [online]. 2015, s. 26, 9. 2. 2015 [cit. 2015-04-10]. Dostupné z: [http://www.merici-pristroje.cz/files/ckeditor/kestazeni/KATALOG\\_PRIMA\\_2015.pdf](http://www.merici-pristroje.cz/files/ckeditor/kestazeni/KATALOG_PRIMA_2015.pdf)

- [29] AICON 3D SYSTEMS. Breuckmann smartSCAN. *AICON 3D Systems* [online]. 2013, 14. 5. 2013 [cit. 2015-04-14]. Dostupné z: <http://aicon3d.com/products/breuckmann-scanner/smartsan/technical-details.html>
- [30] NAVRÁTIL, Robert. Laserové 3D skenery. *Reverse Engineering* [online]. 2001 [cit. 2015-04-10]. Dostupné z: <http://robo.hyperlink.cz/3dskenery/main06.html>
- [31] KONICA MINOLTA. Non-contact 3D Digitizer RANGE 7. *KONICA MINOLTA* [online]. 2009 [cit. 2015-04-12]. Dostupné z: [http://www.konicaminolta.com.cn/instruments/download/manual/pdf/Range7\\_Manual\\_E.pdf](http://www.konicaminolta.com.cn/instruments/download/manual/pdf/Range7_Manual_E.pdf)
- [32] KONICA MINOLTA. Vivid 9i non-contact 3D Digitizer. *3D Scanning Services by EMS* [online]. 2010 [cit. 2015-04-10]. Dostupné z: [http://www.ems-usa.com/Scanner/pdf/EMS\\_vivid9i\\_brochure.pdf](http://www.ems-usa.com/Scanner/pdf/EMS_vivid9i_brochure.pdf)
- [33] Konica Minolta VIVID 9i 3D Laser Scanner. *SenzTech* [online]. 2009 [cit. 2015-04-10]. Dostupné z: <http://www.senztech.cc/showpros.aspx?proid=123>
- [34] Konica Minolta VIVID 9i. *Aniwaa* [online]. 2014 [cit. 2015-04-10]. Dostupné z: <http://www.aniwaa.com/product/konica-minolta-vivid-9i/>
- [35] KONICA MINOLTA. Konica Minolta introduces Non-Contact 3D Digitizer RANGE7. *KONICA MINOLTA Europe* [online]. 2008, 15. 3. 2008 [cit. 2015-04-12]. Dostupné z: <https://www.konicaminolta.eu/de/messgeraete/news-events/news/pressemitteilungen-2008/pressemitteilung/article/konica-minolta-introduces-non-contact-3d-digitizer-range7.html>
- [36] KONICA MINOLTA. RANGE7 non-contact 3D digitizer. *KONICA MINOLTA Europe* [online]. 2013, 3. 1. 2013 [cit. 2015-04-10]. Dostupné z: [http://www.konicaminolta.eu/fileadmin/content/eu/Measuring\\_Instruments/2\\_Products/7\\_3D\\_Measurement/Range\\_7/PDF/Range7\\_EN.pdf](http://www.konicaminolta.eu/fileadmin/content/eu/Measuring_Instruments/2_Products/7_3D_Measurement/Range_7/PDF/Range7_EN.pdf)
- [37] Nikon XC65Dx. *Reviews of Breakthrough Technology* [online]. 2014, 14. 10. 2014 [cit. 2015-04-10]. Dostupné z: <http://3d-scanners.ireviews.com/nikon-xc65dx-review>
- [38] NIKON METROLOGY. XC65Dx(-LS) digital Cross Scanner. *Nikon Metrology* [online]. 2012, 25. 1. 2012 [cit. 2015-04-12]. Dostupné z: [http://www.nikonmetrology.com/en\\_EU/Products/Laser-Scanning/CMM-scanning/XC65Dx-LS-digital-Cross-Scanner](http://www.nikonmetrology.com/en_EU/Products/Laser-Scanning/CMM-scanning/XC65Dx-LS-digital-Cross-Scanner)

- [39] NIKON METROLOGY. XC65Dx(-LS) digital Cross Scanner. *Nikon Metrology* [online]. 2012, 25. 1. 2012 [cit. 2015-04-12]. Dostupné z: [http://www.nikonmetrology.com/en\\_EU/Products/Laser-Scanning/CMM-scanning/XC65Dx-LS-digital-Cross-Scanner/\(brochure\)](http://www.nikonmetrology.com/en_EU/Products/Laser-Scanning/CMM-scanning/XC65Dx-LS-digital-Cross-Scanner/(brochure))
- [40] HEXAGON METROLOGY. Leica T-Scan 5. *Hexagon Metrology* [online]. 2014, 1. 5. 2014 [cit. 2015-04-14]. Dostupné z: [http://www.hexagonmetrology.cz/Leica-T-Scan-5\\_1680.htm#.VUIsVfntmkq](http://www.hexagonmetrology.cz/Leica-T-Scan-5_1680.htm#.VUIsVfntmkq)
- [41] HEXAGON METROLOGY. Leica T-Scan 5. *Hexagon Metrology* [online]. 2014, 1. 5. 2014 [cit. 2015-04-16]. Dostupné z: <http://www.hexagonmetrology.us/products/laser-tracker-systems/leica-t-scan-5#specifications>
- [42] HEXAGON METROLOGY. Brochure LEICA T-SCAN 5. *Hexagon Metrology* [online]. 2014 [cit. 2015-04-14]. Dostupné z: [http://apps.hexagon.se/downloads123/m1/metrology/TScan5/brochures/Leica%20T-Scan%205%20Brochure\\_en.pdf](http://apps.hexagon.se/downloads123/m1/metrology/TScan5/brochures/Leica%20T-Scan%205%20Brochure_en.pdf)
- [43] JELÍNEK, Martin. Revoluce ve 3D skenování. *3d-skenovani.cz* [online]. 2014, 7. 5. 2014 [cit. 2015-04-10]. Dostupné z: <http://www.3d-skenovani.cz/clanky-a-novinky/61-revoluce-ve-3d-skenovani>
- [44] Creaform HandySCAN 700. *Reviews of Breakthrough Technology* [online]. 2014, 14. 10. 2014 [cit. 2015-04-10]. Dostupné z: <http://3d-scanners.ireviews.com/creaform-handyscan-700-review>
- [45] PORTABLE 3D SCANNERS HANDYSCAN 3D. *3D Laser Scanner, Coordinate Measuring Machine and 3D Scanning Creaform* [online]. 2014, 3. 5. 2014 [cit. 2015-04-11]. Dostupné z: <http://www.creaform3d.com/en/metrology-solutions/portable-3d-scanner-handyscan-3d>
- [46] FARO. Measuring Arm FARO ScanArm. *3D Measurement Technology from FARO* [online]. 2012, 6. 12. 2012 [cit. 2015-04-12]. Dostupné z: <http://www.faro.com/products/metrology/faro-scanarm/overview>
- [47] PRIMA BILAVČÍK. Přístroje pro měření a metrologii 2015. *Přístroje pro měření a metrologii PRIMA BILAVČÍK* [online]. 2015, s. 28-29, 9. 2. 2015 [cit. 2015-04-10]. Dostupné z: [http://www.merici-pristroje.cz/files/ckeditor/kestazeni/KATALOG\\_PRIMA\\_2015.pdf](http://www.merici-pristroje.cz/files/ckeditor/kestazeni/KATALOG_PRIMA_2015.pdf)

- [48] FARO. FARO Laser ScanArm V3. *Faro* [online]. 2012, 23. 2. 2012 [cit. 2015-04-17]. Dostupné z: <https://faro.blob.core.windows.net/sitefinity/tech-sheets/04ref201-276-en---faro-laser-scanarm-v3-tech-sheet.pdf?sfvrsn=8>
- [49] FARO. FARO Edge ScanArm ES. *Faro* [online]. 2013, 9. 10. 2013 [cit. 2015-04-17]. Dostupné z: <https://faro.blob.core.windows.net/sitefinity/tech-sheets/04ref201-450-en---faro-edge-scanarm-tech-sheet.pdf?sfvrsn=18>
- [50] FARO. FARO Edge ScanArm HD. *Faro* [online]. 2014, 9. 3. 2014 [cit. 2015-04-17]. Dostupné z: <https://faro.blob.core.windows.net/sitefinity/tech-sheets/04ref201-531-en---faro-edge-scanarm-hd-tech-sheet.pdf?sfvrsn=8>
- [51] Reverzní inženýrství. In: *Wikipedia* [online]. 2006, 19. 4. 2014 [cit. 2015-04-9]. Dostupné z: [http://cs.wikipedia.org/wiki/Reverzn%C3%AD\\_in%C5%BEen%C3%BDrstv%C3%AD](http://cs.wikipedia.org/wiki/Reverzn%C3%AD_in%C5%BEen%C3%BDrstv%C3%AD)
- [52] SALVI, Joaquim, Jordi PAGÈS a Joan BATLLE. 2004. Pattern codification strategies in structured light systems. *Pattern Recognition*. **37**(4): 827-849. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.patcog.2003.10.002>. ISSN 00313203. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0031320303003303>
- [53] GENG, Jason. 2011/06/30. Structured-light 3D surface imaging: a tutorial. *Advances in Optics and Photonics*. OSA, **3**(2): 128-160. DOI: 10.1364/AOP.3.000128. Dostupné také z: <http://aop.osa.org/abstract.cfm?URI=aop-3-2-128>
- [54] *Structured Light II* [online]. 2012. [cit. 2015-05-08]. Dostupné také z: <http://www.sci.utah.edu/~gerig/CS6320-S2013/Materials/CS6320-CV-S2012-StructuredLight-II.pdf>
- [55] AICON 3D SYSTEMS,. AICON's stereoSCAN neo: See what you measure!. *AICON 3D SYSTEMS* [online]. [cit. 2015-05-09]. 2015, Dostupné z: <http://aicon3d.com/latest-news/news/news-in-detail/article/aicons-stereoscan-neo-see-what-you-measure.html>

## 7 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK, SYMBOLŮ A VELIČIN

7

---

<b>Zkratka</b>	<b>Význam</b>
3D	trojrozměrný
CMM	souřadnicový měřicí stroj
CT	počítačová tomografie
2D	dvourozměrný
CCD	polovodičová elektronická součástka využívaná ve videokamerách, fotoaparátech nebo skenerech pro snímání obrazové informace
CMOS	polovodičová elektronická součástka, která se řízena elektrickým polem
ToF	metoda založená na měření doby letu světelného paprsku
CAD	počítačová podpora konstruování
CAM	počítačem podporovaná výroba
FEM	metoda konečných prvků, která slouží ke zjednodušení analytického výpočtu
ILC	technologie Intelligent Light Control firmy Steinbichler
LED	světlo vyzařující dioda
MPT	patentovaná metoda proužkové projekce firmy Breuckmann
LCD	displej z tekutých krystalů
ESP3	třetí generace technologie Performance Enhanced Sensor
CNC	numerické řízení pomocí počítače

**8 SEZNAM OBRÁZKŮ**

<b>Obr. 3-1</b> CMM Helmel Phoenix .....	14
<b>Obr. 3-2</b> Princip získání obrysu ze siluety .....	16
<b>Obr. 3-3</b> Triangulační trojúhelník .....	18
<b>Obr. 3-4</b> Příklad binárního kódování v praxi .....	19
<b>Obr. 3-5</b> Metoda binárního kódu .....	19
<b>Obr. 3-6</b> Vzor n-árního kódu .....	20
<b>Obr. 3-7</b> Kombinace šedého kódu a fázového posuvu .....	21
<b>Obr. 3-8</b> Technologie Triple Scan .....	22
<b>Obr. 3-9</b> ATOS Compact Scan 2M .....	22
<b>Obr. 3-10</b> ATOS Compact Scan 5M .....	22
<b>Obr. 3-11</b> ATOS II Triple Scan .....	23
<b>Obr. 3-12</b> ATOS III Triple Scan .....	23
<b>Obr. 3-13</b> ATOS Triple Scan 16M .....	23
<b>Obr. 3-14</b> ATOS Core.....	24
<b>Obr. 3-15</b> Steinbichler Comet 6–16M .....	25
<b>Obr. 3-16</b> Steinbichler Comet L3D .....	26
<b>Obr. 3-17</b> Breuckmann stereoSCAN–R16 .....	27
<b>Obr. 3-18</b> Breuckmann smartSCAN-R8 .....	28
<b>Obr. 3-19</b> Princip skenování laserovým 3D skenerem .....	29
<b>Obr. 3-20</b> Konica Minolta Vivid-9i .....	30
<b>Obr. 3-21</b> Konica Minolta Range 7 .....	31
<b>Obr. 3-22</b> Nikon XC65Dx .....	32
<b>Obr. 3-23</b> Leica T–Scan 5 .....	33
<b>Obr. 3-24</b> Creaform Handyscan 700 .....	34
<b>Obr. 3-25</b> FARO ScanArm V3 .....	35
<b>Obr. 3-26</b> FARO Edge ScanArm ES .....	35
<b>Obr. 3-27</b> FARO Edge ScanArm HD .....	36

**9 SEZNAM TABULEK**

<b>Tab. 3-1</b>	Technické specifikace ATOS Compact Scan.....	22
<b>Tab. 3-2</b>	Technické specifikace ATOS Triple Scan .....	23
<b>Tab. 3-3</b>	Technické specifikace ATOS Triple Scan 16M.....	23
<b>Tab. 3-4</b>	Technické specifikace ATOS Core .....	24
<b>Tab. 3-5</b>	Technické specifikace Steinbichler Comet 6–16M.....	25
<b>Tab. 3-6</b>	Technické specifikace Steinbichler Comet L3D .....	26
<b>Tab. 3-7</b>	Technické specifikace Steinbichler Comet L3D .....	26
<b>Tab. 3-8</b>	Technické specifikace Breuckmann StereoSCAN–R16 .....	27
<b>Tab. 3-9</b>	Technické specifikace Breuckmann smartSCAN–R8.....	28
<b>Tab. 3-10</b>	Technické specifikace Konica Minolta Vivid-9i.....	30
<b>Tab. 3-11</b>	Technické specifikace Konica Minolta Range 7 .....	31
<b>Tab. 3-12</b>	Technické specifikace Nikon XC65Dx.....	32
<b>Tab. 3-13</b>	Technické specifikace Leica T-Scan 5 .....	33
<b>Tab. 3-14</b>	Technické specifikace Creaform Handyscan 700 .....	34
<b>Tab. 3-15</b>	Technické specifikace Faro ScanArm.....	35
<b>Tab. 3-16</b>	Technické specifikace FARO Edge ScanArm HD.....	36