

ŠKODA AUTO VYSOKÁ ŠKOLA o.p.s.

Studijní program: B6208 Ekonomika a management

Studijní obor/specializace: 6208R186 Podniková ekonomika a řízení provozu,
logistiky a kvality

Inovace v 3D skenování odlitků a polystyrenových modelů ve výrobě nářadí Bakalářská práce

Darya NIKIFOROVA

Vedoucí práce: Ing. František Starý



ŠKODA AUTO Vysoká škola

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Zpracovatelka: **Darya Nikiforova**

Studijní program: Ekonomika a management

Obor: Podniková ekonomika a řízení provozu, logistiky a kvality

Název tématu: **Inovace v 3D skenování odlitků a polystyrenových modelů ve výrobě nářadí**

Cíl: Cílem bakalářské práce je popis současných inovací na trhu 3D skenování a analýza zařízení vlastněných a od vybraných dodavatelů s následným návrhem vhodných řešení pro vybrané typy odlitků či polystyrenových modelů.

Rámcový obsah:

1. Úvod
 - Uvedení do problematiky 3D skenování.
2. Charakteristika technologií
 - Popis technologií a zařízení.
3. Rozbor skenovaných dílů a možností měřicích přístrojů
 - Rozdělení vybraných forem a měřicích přístrojů dle kategorií
4. Návrh řešení problematiky
 - Přiřazení vhodných měřicích přístrojů pro jednotlivé odlitky a modely.
5. Závěr
 - Souhrn hlavních výsledků popsaných v diplomové práci.
 - Doporučení pro každý model nebo měřicí přístroj.

Rozsah práce: 25 – 30 stran

Seznam odborné literatury:

1. HINTON, K. *Creating with 3D Scanners*. New York: The Rosen Publishing Group, Inc., 2017. 64 s. ISBN 978-1-499-46502-0.
2. BELLOCCHIO, F. – PIURI, V. – FERRARI, S. *3D Surface Reconstruction: Multi-Scale Hierarchical Approaches*. New York: Springer Publishing, 2013. 162 s. ISBN 978-1-461-45631-5.
3. CHARLTON, M. – LARGE, A. – HERITAGE, G. *Laser Scanning for the Environmental Sciences*. Chichester : Blackwell Publishing Ltd., 2009. 288 s. ISBN 978-1-444-31194-5.
4. CHEN, T. *New 3D Scanning Techniques for Complex Scenes: Skin, Jelly Candy, Alabaster, Fruits and More*. Oxford: Omniscryptum Publishing Group, 2009. 108 s. ISBN 978-3-639-20656-2.

Datum zadání bakalářské práce: prosinec 2019

Termín odevzdání bakalářské práce: prosinec 2020

L. S.


Ing. František Starý
Vedoucí práce


Mgr. Petr Šulc
Prořektor ŠAVŠ


doc. Ing. Jan Fábry, Ph.D.
Garant studijního oboru


Darya Nikiforova
Autorka práce

Prohlašuji, že jsem závěrečnou práci vypracovala samostatně a použité zdroje uvádím v seznamu literatury. Prohlašuji, že jsem se při vypracování řídila vnitřním předpisem ŠKODA AUTO VYSOKÉ ŠKOLY o.p.s. (dále jen ŠAVŠ) směrnicí OS.17.10 Vypracování závěrečné práce.

Jsem si vědoma, že se na tuto závěrečnou práci vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, že se jedná ve smyslu § 60 o školní dílo a že podle § 35 odst. 3 je ŠAVŠ oprávněna mou práci využít k výuce nebo k vlastní vnitřní potřebě. Souhlasím, aby moje práce byla zveřejněna podle § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách.

Beru na vědomí, že ŠAVŠ má právo na uzavření licenční smlouvy k této práci za obvyklých podmínek. Užiji-li tuto práci, nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, mám povinnost o této skutečnosti informovat ŠAVŠ. V takovém případě má ŠAVŠ právo ode mne požadovat příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to až do jejich skutečné výše.

V Mladé Boleslavi dne

Chtěla bych poděkovat svému vedoucímu bakalářské práce Ing. Františku Starému za odborné vedení, za pomoc a rady při zpracování této práce a také svým rodičům, kamarádkám a všem, kteří mě v mém studiu podporovali.

Obsah

Úvod.....	7
1 Technologie 3D skenování	8
1.1 Bezkontaktní 3D skenery	9
1.1.1 Laserové 3D skenery.....	10
1.1.2 Optické 3D skenery	10
1.2 Kontaktní 3D skenery	11
2 Rozbor skenovaných dílů a možností měřicích přístrojů.....	13
2.1 Odlitky a polystyrenové modely.....	13
2.2 3D skenery	13
2.2.1 Kontaktní skenery	14
2.2.2 Bezkontaktní skenery	15
3 Návrh řešení problematiky	24
3.1 Malé objekty	25
3.2 Střední objekty	25
3.3 Velké objekty	26
Závěr	27
Seznam literatury	28
Seznam obrázků a tabulek.....	30

Seznam použitých zkratk a symbolů

3D Trojdimenzionální nebo trojrozměrný

CMM Souřadnicový měřicí stroj

LED Elektroluminiscenční dioda

Úvod

V moderním světě vznikají technologie, které nám pomáhají usnadňovat a zlepšovat kvalitu prováděné práce. Jednou z nových technologií poslední poloviny 20. století je 3D skenování, které je v moderním světě využíváno v oblastech automobilového a leteckého průmyslu zdravotnictví, archeologii, v reverzním inženýrství aj. Firmy používají 3D měřicí přístroje pro udržení a kontrolu kvality vyráběného produktu a jeho součástí, pro usnadňování procesu modelování a výroby.

Cílem této práce je analyzovat, seznámit s inovacemi na trhu 3D scenerů v současné době a navrhnout nejvhodnější řešení pro určité rozměrové kategorie odlitků a polystyrenových modelů.

Teoretická část se věnuje vysvětlení technologií 3D měření. Zahrnuje to rozčlenění měřicích přístrojů na druhy a detailní popis principu skenování každého. V této kapitole jsou popsány výhody a nevýhody určitých typů skenování.

V praktické části je uveden jeden 3D skener od každé vyrábějící společnosti a popsané jeho technické vlastnosti. Tento jeden 3D skener je vybrán z různých typů 3D skenování a to pro demonstraci pokroku v této oblasti. Tato část také popisuje zkoumané objekty, a to jsou odlitky a polystyrenové modely. Pro větší přehlednost budou tyto objekty rozděleny do třech kategorií podle velikosti. Budou popsány problémy, se kterými je možné se setkat při výběru 3D skeneru.

Úkolem poslední části jsou návrhy, které jsou založené na provedené analýze. To znamená přiřazení měřicích přístrojů k polystyrenovým modelům a odlitkům. Poté bude zvolené řešení vysvětleno.

Autorka bakalářské práce si vybrala toto téma, protože je aktuální a žádané v naší době. Většina firem potřebuje při výběru vhodného 3D skeneru radu a tato práce si klade za cíl pomoci s výběrem. Přehled každého z vybraných měřicích zařízení vysvětlí, pro které typy snímaných objektů je vhodné.

Tato práce vznikla ve spolupráci se společností ŠKODA Auto a.s. a měla za účel pomoci společnosti porovnat 3D skenery, které mají, s těmi, které existují na trhu v současné době. Autorka dostala požadavky, které měly být v technických specifikacích zařízení.

1 Technologie 3D skenování

První funkční prototyp se objevil v 60. letech 20. století. Samozřejmě, že neoplýval širokou škálou možností, ale byl to skutečný 3D skener, který si dobře poradil s hlavní funkcí. Skenovací zařízení se postupně začala zlepšovat od poloviny 80. let. Začaly je doplňovat lasery, zdroje bílého světla a stmívání. Díky tomu bylo možné zlepšit zachycení zkoumaných objektů. Během této doby se objevily kontaktní senzory. S jejich pomocí byl digitalizován povrch pevných předmětů, které se nelišily složitým tvarem. Pro zdokonalení vybavení si vývojáři museli vypůjčit řadu optických technologií z vojenského průmyslu.

„3D skener je zařízení, které analyzuje skutečný objekt nebo prostředí a shromažďuje údaje o jeho tvaru, případně jeho vzhledu (např. barvě). Nashromážděná data lze poté použít ke konstrukci digitálních trojrozměrných modelů.“ (Mizerák, Edl, Trojan, 2018, str. 1).

Skenery řídí přesnost rozměrů podle již naprogramovaného modelu nebo se používají k jeho vytvoření. Tak například během archeologických vykopávek jsou nalezené objekty skenovány a poté porovnávány, aby bylo možné pochopit, o co jde. V současné době existuje několik typů 3D skenerů a to jsou:

- Kontaktní
- Bezkontaktní

„Mezi kontaktní metody patří CMM, měřicí ruka atd. Bezkontaktní metody zahrnují optické, mikrovlnné, radarové a sonarové. Tato práce se zaměřuje na CMM, měřicí ruku a optické metody.“ (Chen, 2009, str. 7). Pro pochopení tohoto je nutné vysvětlit několik pojmů. To jsou měřicí nástroje, na kterých je založen systém 3D skenování jako:

- „*Přesnost* je index, který popisuje, jak blízko jsou poskytnutá měření ke skutečné hodnotě.“ (Bellocchio, Borghese, Ferrari, Piuri, 2013, str. 21)
- „*Rozlišení* měří hustotu detailů, kterou může objevit nebo minimální distance mezi vlastnostmi, které musí být rozeznatelnými.“ (Bellocchio, Borghese, Ferrari, Piuri, 2013, str. 21)

- „*Rychlost skeneru* se měří v tom, kolik bodů za sekundu může zaznamenávat stroj.“ (Bellocchio, Borghese, Ferrari, Piuri, 2013, str. 21)
- „*Flexibilita systému* je kapacita schopnosti získat širokou třídu objektů. Záleží na typu senzorů a rozměru akviziční /zkoumaného pole.“ (Bellocchio, Borghese, Ferrari, Piuri, 2013, str. 22)
- „*Invazivnost* je efekt, který se může stát v průběhu procesu skenování objektu. Například, když se provádí skenování křehkých objektů, může nastat poškození nebo dopadající světlo může změnit povrch.“ (Bellocchio, Borghese, Ferrari, Piuri, 2013, str. 22)
- „*Robustnost systému* popisuje citlivost systému na podmínky prostředí.“ (Bellocchio, Borghese, Ferrari, Piuri, 2013, str. 22)

A ostatní jako cena a použitelnost. Pomocí těchto parametrů se dá porovnat efektivita práce 3D skeneru a pochopit, na jaký objekt se dá lépe použít.

Digitalizace objektů má také určitá omezení. Se zrcadlenými, lesklými nebo průhlednými povrchy mohou nastat potíže. Stojí za připomenutí, že 3D data jsou důležitá i v jiných činnostech. Používají se například v zábavním průmyslu při tvorbě videoher, filmů, kreseb. 3D technologie nacházejí své uplatnění v ortopedii a protetice, v průmyslovém designu, reverzním inženýrství, prototypování, jakož i při inspekcích a dokumentaci historických míst nebo jiných kulturních artefaktů.

1.1 Bezkontaktní 3D skenery

Podle typu skenování jsou bezkontaktní 3D skenery rozděleny na pasivní a aktivní. Pasivní 3D skenery využívají ke své práci stávající okolní světlo, jehož odraz od objektu je analyzován. Pasivní bezkontaktní 3D skenery jsou ve skutečnosti fotoaparát nebo videokamerou vybavenou algoritmy pro převod zachyceného materiálu na jediný objemový obrazec. Činnost těchto algoritmů může vyžadovat natáčení určitého počtu snímků z určitých úhlů a nahrávání kruhového videa při určité rychlosti fotoaparátu.

Hlavní výhodou pasivních bezkontaktních 3D skenerů je jednoduchost jejich technické implementace, kterou kompenzuje složitost algoritmů zpracování a složitý postup přípravy objektu pro skenování. Pasivní bezkontaktní 3D skenery se navíc v

průměru vyznačují nízkou kvalitou konečného výsledku, což znamená, že uživatel čelí problému následné ruční revize modelu v editoru.

Aktivní 3D skenery kromě dostupného okolního světla generují vlastní vlnový signál, kterým může být buď světlo, laser, nebo například zvuk. Kromě toho může výrobce nakonfigurovat a tvarovat nativní průběh aktivních 3D skenerů - což pomáhá skenovat objekt se zvýšenou přesností. Některé 3D skenery například promítají na povrch skenovaného objektu mřížku čar bílého světla (nebo jiný běžný vzor). Zkreslení této mřížky pomáhá zdůvodnit nepravidelnosti objektu a stávají se dalším zdrojem informací pro algoritmy 3D skeneru.

1.1.1 Laserové 3D skenery

Laserové skenování je bezkontaktní technologie vytvoření digitálního modelu fyzického objektu pomocí laserového paprsku. Zde se využívá efekt odrazu světelných vln od povrchu objektu. Odražené vlny jsou zachyceny speciálními senzory, analyzovány a pomocí různých algoritmů převedeny na virtuální zobrazení. Pokud se však běžný skener zabývá plochými objekty (kresba, text) je jeho způsob práce velmi jednoduchý. 3D skenery jsou tudíž nuceny používat složité mechanismy k analýze vzhledu trojrozměrného obrazce. Patří mezi nejběžnější na trhu a dodávají se v několika typech: od velkých, které se montují na stativy pro sběr dat na velké vzdálenosti, až po ty ruční.

Výhody:

- Digitalizace objektů se složitými povrchy.
- Skenování na těžko přístupných místech.
- Žádný vliv osvětlení na výsledek.
- Necitlivé na lesklé nebo tmavé skenovací objekty.

1.1.2 Optické 3D skenery

Optický 3D skener se vyznačuje vysokou rychlostí skenování. Jeho použití eliminuje jakékoli zkreslení, i když se objekt pohybuje. Rovněž není nutné používat reflexní značky. Taková zařízení však nejsou vhodná pro zkoumání zrcadlových, průhledných nebo lesklých objektů. Mnoho optických 3D skenerů umožňuje získávat informace nejen o umístění bodů, ale také o jejich barvách, což je příznivé

ve srovnání s laserovými 3D skenery. Informace o barvě mohou být velmi důležité, někdy mohou změny barev diagnostikovat odchylky ve vlastnostech součásti. To je nezbytné pro následnou rekonstrukci vzhledu objektu, která je zásadní, pokud nejde o technický detail, ale o historický nebo umělecký předmět.

1.2 Kontaktní 3D skenery

Dotykové skenery pro provádění práce musí fyzicky zasáhnout do objektu skenování, proto zvýrazňují jenom konkrétní místo označené obsluhou a znamená to, že dostáváme data z určeného bodu. Existují dva typy systémů, a to jsou CMM a měřicí ruka.

Systém CMM představuje hmatovou sondu, připojenou k svislému ramenu, kterým lze pohybovat po vodorovné rovině (viz Obr. 1). Pohyb probíhá ve třech ortogonálních osách. Měření se provádí posunutím ovladače podle každé osy, přitom objekt musí být umístěn na referenční desce, ke které bude mít sonda přístup k prozkoumání. Pohyb sondy se může provádět automaticky nebo manuálně. Obecně se tento systém většinou používá ve výrobě.

Mezi výhody patří:

- vysoká přesnost skenování

Nevýhody jsou:

- omezený objem skenování
- při vzorkování musí být přístup ve svislém směru.



Zdroj: LK Metrology Ltd, 2019

Obr. 1 3D skener typu CMM ALTERA M

System měřicí ruky (anglicky: Jointed Arm) je složen z řetězce kloubových spojení se sondou na koncovém efektoru (viz Obr. 2). Trojrozměrné umístění sondy je výsledkem posuvu ramene, které se pohybuje v prostoru tím, že mění úhel a rádius. Je citlivý na změny vlhkosti vzduchu a teploty, proto dobrý výkon vyžadují vysoce kvalitní mechanický a elektronický design a zpracování.



Zdroj: Manchester Metrology Ltd, 2020

Obr. 2 FARO Prime

Rozdíl mezi CMM a Jointed Arm je v jejich odlišné mechanické struktuře. CMM nemá žádné problémy v automatickém pohybu, kdy Jointed Arm je většinou manuální. Oba typy ukazují přesné výsledky, ale jsou výrazně pomalejší ve srovnání s ostatními systémy skenerů. Tyto metody jsou těžko použitelné pro křehké objekty skenování, protože mohou snadno poškodit jejich tvar.

2 Rozbor skenovaných dílů a možností měřicích přístrojů

V této kapitole budou popsány vybrané skenery, jejich technické charakteristiky a principy práce. Budou také uvedeny charakteristiky skenovaných objektů, jejich dělení podle velikosti a podmínky pro výběr měřicího zařízení. Hlavním kritériem výběru je určitá požadovaná přesnost každé rozměrové kategorii.

2.1 Odlitky a polystyrenové modely

V této práci jsou skenovanými objekty odlitky a polystyrenové modely, sloužící pro výrobu náradí. Kvůli tomu, že jsou denně používány ve výrobě musí být periodicky kontrolovány, protože je možný vznik deformací.

Tím, že je polystyren měkký a může se snadno poškodit, bylo by nelogické používat kontaktní 3D skenery. Jak bylo popsáno v kapitole 1.2, kontaktní 3D měřicí stroje nejsou vhodné pro křehké objekty. Co se týče skenovaných objektů, zde může nastat problém s lesklým povrchem. Řešením je použití speciálního matového spreje, který usnadní proces skenování. Skenování objektů se prochází ve vodorovné poloze.

Pro lepší přiřazení měřicích přístrojů, byly skenované objekty rozděleny do tří kategorií, kde rozměr je označen jako šířka x výška a jsou vyjádřené v mm. Důležitým upozorněním je, že délka je stejně velká jako šířka.

- **Malé objekty**

Tyto objekty mají rozměr 300 x 300 mm a požadovanou přesnost 0,02 mm.

- **Střední objekty**

Tato kategorie má velikost 1500 x 3500 mm a doporučenou přesnost 0,05 mm.

- **Velké objekty**

Rozměr objektu dané kategorie je 3000 x 5000 mm a potřebují přesnost kolem 0,1 mm.

2.2 3D skenery

Bylo vybráno několik firem, které se specializují na výrobu 3D skenerů. Tyto firmy spolupracují s takovými významnými společnostmi jako NASA, Unilever, ŠKODA

AUTO a.s., BOEING, MEDGAL Sp. z o.o., Siemens AG, Walt Disney Motion Pictures Group apod.

2.2.1 Kontaktní skenery

- **FARO Prime 1,8 m**

Skener FARO Prime je měřicí ruka, na jejíž délce závisí přesnost a opakovatelnost skenování. Je ideálním řešením pro inspekční měření, reverzní inženýrství, analýzu výkresů dílů podle CAD a jakékoli jiné aplikace, kde jsou vyžadována vysoce přesná kontaktní měření. Modelová řada této ruky je od 1,2 do 3,8 m. Pro výzkum v této práci byl vybrán skener dlouhý 1,8 metru (viz Tab. 1 a Obr. 2).

Tab. 1 Technická charakteristika FARO Prime 1,8 m

Nástroje skeneru	Parametr
Přesnost	0,027 mm
Rozlišení	0,019 mm
Rychlost	Výrobce neuvádí
Pracovní vzdálenost	Kontaktní
Skenovací plocha	1,8 m

Zdroj: FARO Technologies, Inc., 2020

- **ALTERA M**

Výrobek společnosti LK Metrology Ltd představuje CMM s technickými charakteristikami uvedenými v tabulce 2. Obsahuje vylepšené pneumatické antivibrační úchyty, které jsou optimální pro práci v místech s vysokou úrovní nízkofrekvenčních vibrací. Stůl, kde leží skenovaný objekt, je chráněn před znečištěním prachem a olejem a zajišťuje tuhost konstrukce (viz Obr.1). Maximální zatížení stolu je 2350 kg. Minimální snímací síla představuje 0,1 N.

Tab. 2 Technická charakteristika skeneru ALTERA M 25.12.10

Nástroje skeneru	Parametr
Přesnost	0,0015 mm
Rozlišení	0,0015 mm
Rychlost	833 mm / s
Pracovní vzdálenost	Kontaktní
Skenovací plocha	2500 x 1200 mm ²

Zdroj: LK Metrology Ltd., 2018 a Sonatek s.r.o., 2020

2.2.2 Bezkontaktní skenery

V této části jsou popsány 3D skenery dvou typů a jsou to laserové a optické.

➤ Laserové

- ScanTech PRINCE335

3D skener ScanTech PRINCE335 se skládá ze dvou kamer s LED podsvícením a využívá dva provozní režimy: použití červeného a modrého laseru (viz. Obr. 3 a Tab. 3). Pomocí červeného laseru dosahuje vysoké rychlosti skenování a modrý laser poskytuje vysokou přesnost. Váha tohoto měřicího stroje je 0,95 kg.



Zdroj: Integrator cifrovych reseni s.r.o, 2020

Obr. 3 ScanTech PRINCE335

Tab. 3 Technická charakteristika ScanTech PRINCE335

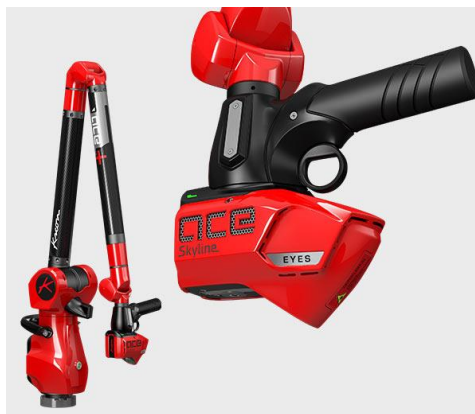
Nástroje skeneru	Parametr	
	Modrý laser	Červený laser
Přesnost	0,03 mm	
Rozlišení	0,02 mm	0,05 mm
Rychlost	320 tisíc bodů / s	265 000 bodů / s
Pracovní vzdálenost	150 mm	300 mm
Skenovací plocha	315 x 165 mm ²	

Zdroj: Integrator cifrovych reseni s.r.o, 2020

- Ace Skyline EYES 3,5 m

Tento produkt společnosti KREON Technologies se skládá z měřicí ruky a 3D skeneru Skyline EYES. Modrá laserová technologie a HD kamera si lehce poradí s náročnými povrchy, jako jsou tmavé lesklé, lesklé nebo uhlíkové povrchy. Délka

ruky se pohybuje v rozmezí od 2 do 4,5 m a to představuje pracovní objem. Pro analýzu byla vybrána ruka s délkou 3,5 m (viz Tab. 4 a Obr. 4).



Zdroj: KREON Technologies, 2020

Obr. 4 Ace Skyline EYES

Tab. 4 Technická charakteristika Ace Skyline EYES 3,5 m

Nástroje skeneru	Parametr
Přesnost	0,009 mm
Rozlišení	0,025 mm
Rychlost	600 tisíc bodů / s
Pracovní vzdálenost	90 mm
Skenovací plocha	Výrobce neuvádí

Zdroj: KREON Technologies, 2020

➤ **Optické**

- FREETRAK a FREESCAN TRAK

Na základě nejnovější technologie firmy SHINING 3D Technology GmbH je optický sledovač (FREETRAK) schopen zachytit prostorovou polohu skeneru (FREESCAN TRAK) v reálném čase a nabízí přenosné, efektivní a spolehlivé řešení 3D měření (viz Tab. 5 a Obr. 5). Mezi sledovačem a skenerem nejsou žádné fyzické kabely a k nastavení systému 3D měření se používá bezdrátová technologie. Systém pomáhá operátorovi zbavit se časově náročného procesu lepení značek/ bodů. Je určen pro získání 3D dat středních a velkých objektů s přesností na metrologickou úroveň kvality. Je vhodný pro různé statické a dynamické aplikace, včetně

rozsáhlých 3D inspekci v leteckém, automobilovém, lodním a energetickém průmyslu atd.



Zdroj: SHINING 3D Tech. Co., Ltd., 2019

Obr. 5 Sledovač FREETRAK a skener FREESCAN TRAK

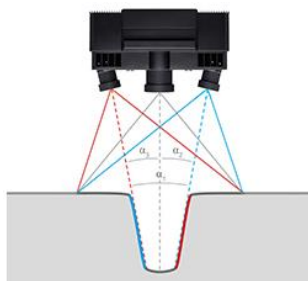
Tab. 5 Technická charakteristika sledovače FREETRAK a skeneru FREESCAN TRAK

Nástroje skeneru	Parametr FREETRAK	PARAMETR FREESCAN TRAK
Přesnost	0,03 mm	
Rozlišení	0,05 mm	
Rychlost	480 tisíc bodů / s	
Pracovní vzdálenost	3000 mm	300 mm
Skenovací plocha	3000 x 2500 mm ²	275 x 250 mm ²

Zdroj: SHINING 3D Tech. Co., Ltd., 2019

- ATOS III Triple Scan

Průmyslový 3D skener společnosti GOM je určen pro vysoce přesné měření velmi malých i velkých objektů. Zde se používají tři nezávislé kamery najednou a technologie modrého světla pro maximální kvalitu a stabilitu výsledků (viz Obr. 6 a Obr. 7). Technologie skenování tohoto skeneru je optická.



Zdroj: GOM GmbH, 2020

Obr. 6 Princip trojitého skenování



Zdroj: GOM GmbH, 2020

Obr. 7 ATOS III Triple Scan

Výhodami tohoto skeneru jsou nízká citlivost na světelné podmínky prostředí a bezproblémové měření lesklých a tmavých povrchů a složitých komponentů. V tabulce 6 jsou uvedeny technické charakteristiky skeneru.

Tab. 6 Technická charakteristika skeneru ATOS III Triple Scan

Nástroje skeneru	Parametr
Přesnost	0,01 – 0,61 mm
Rozlišení	0,01 -0,61 mm
Rychlost	8 milionů bodů / s
Pracovní vzdálenost	490 - 2000 mm
Skenovací plocha	38 x 29 mm ² - 2000 x 1500 mm ²

Zdroj: Globatek JSC, 2020

- AICON StereoScan Neo

Skener firmy AICON 3D Systems GmbH je vybaven 8 megapixelovou digitální kamerou a poskytuje maximální stupeň detailů objektu (viz Tab. 7 a Obr. 8). Pomocí technologie SWYM bylo poprvé možné vizualizovat výsledky měření přímo na objektu. Dříve výkon technologie strukturovaného osvětlení závisel na vlastnostech povrchu skenovaného objektu. Barva a reflexní vlastnosti povrchu objektu významně ovlivnily kvalitu výsledků měření. V tomto případě digitální adaptivní technologie poskytuje plně barevné projekce 3D skeneru AICON StereoScan Neo nezbytné korekce, pomocí kontroly barev a intenzity, aby se optimálně přizpůsobila daným vlastnostem povrchu. Technologie SWYM umožňuje zobrazit odchylky od modelu CAD přímo na objektu, což pomáhá rychlejšímu provedení korekce.



Zdroj: 3D Control s.r.o., 2019

Obr. 8 AICON StereoScan Neo

Tab. 7 Technická charakteristika skeneru AICON StereoScan Neo R8

Nástroje skeneru	Parametr
Přesnost	0,008 mm
Rozlišení	0,002 mm
Rychlost	1 s
Pracovní vzdálenost	350 mm
Skenovací plocha	75 - 200 mm ²

Zdroj: 3D Control s.r.o., 2019

- MICRON3D green stereo

Tento skener používá zelené LED světlo měřící vlnové délky 520 nm, což snižuje dopad změn osvětlení na měření (viz Tab. 8 a Obr. 9). To mu umožňuje zachytit až o 30% lepší výsledky ve srovnání s 3D skenery používající bílé světlo. 3D skener od společnosti SMARTTECH Ltd. navíc obsahuje dva monochromické detektory, které umožňují mnohem přesnější reprodukci povrchu objektu.



Zdroj: SMARTTECH Ltd., 2020

Obr. 9 MICRON3D green stereo

Tab. 8 Technická charakteristika MICRON3D green stereo

Nástroje skeneru	Parametr		
Přesnost	0,013 mm	0,028 mm	0,04 mm
Rozlišení	0,078 mm	0,117 mm	0,156 mm
Rychlost	Výrobce neuvádí		
Skenovací plocha	200 x 150 mm ²	300 x 200 mm ²	400 x 300 mm ²
Pracovní vzdálenost	Výrobce neuvádí		

Zdroj: SMARTTECH Ltd., 2020

- Go! SCAN

Ruční skener od společnosti Creoform je určen především pro vysoce přesné 3D skenování malých předmětů do vzdálenosti až půl metru (viz Tab. 9 a Obr. 10). Nepotřebuje speciální přípravu povrchu pro skenování. Váha 3D skeneru je 1,25 kg.

Tab. 9 Technická charakteristika Creaform Go!SCAN

Nástroje skeneru	Parametr
Přesnost	0,05 mm
Rozlišení	0,1 mm
Rychlost	1,5 milionů bodů / s
Pracovní vzdálenost	400 mm
Skenovací plocha	390 x 390 mm ²

Zdroj: Creoform Inc., 2020



Zdroj: Globatek JSC, 2020

Obr. 10 Ruční skener Go!SCAN

- EviXscan 3D Heavy Duty Optima

Jeden z prvních 3D skenerů od společnosti Evatronix S. A. je založen na technologii modrého LED světla. Nejčastěji se používá v reverzním inženýrství, ke kontrole kvality a prototypování. Tabulka 10 obsahuje vlastnosti tohoto výrobku a obrázek 11 ukazuje, jak vypadá zařízení.



Zdroj: Evatronix S.A., 2017

Obr. 11 Heavy Duty Optima

Tab. 10 Technická charakteristika Heavy Duty Optima

Nástroje skeneru	Parametr
Přesnost	0,0183 mm
Rozlišení	0,2 mm
Rychlost	5 s
Pracovní vzdálenost	Výrobce neuvádí
Skenovací plocha	250 x 170 mm ²

Zdroj: Evatronix S.A., 2017

- HDI 120

HDI 120 je portativní 3D skener společnosti LMI Technologies Inc. (viz Tab. 12 a Obr. 12). Tento 3D skener používá modré LED světlo a potřebuje jen 0,3 sekund na jeden snímek.



Zdroj: Aniwaa Pte. Ltd., 2020

Obr. 12 HDI 120

Tab. 11 Technická charakteristika skeneru HDI 120

Nástroje skeneru	Parametr
Přesnost	0,06 mm
Rozlišení	0,11 mm
Rychlost	3 283 000 bodů / s
Pracovní vzdálenost	0,3 – 0,48 m
Skenovací plocha	124 x 120 mm ² – 190 x 175 mm ²

Zdroj: Aniwaa Pte. Ltd., 2020

- Artec Eva

Profesionální ruční 3D skener od společnosti Artec 3D je ideálním řešením pro rychlou digitalizaci středně velkých objektů: průmyslových dílů, lidí, památek, architektonických prvků, automobilů. Artec Eva je ve své třídě nejlehčí 3D skener, který nevyžaduje žádnou kalibraci ani označení na objektu (viz Obr. 13). To zjednodušuje 3D skenování, tím dělá proces zcela bezkontaktním a pohodlným. Tabulka 12 představuje technické nástroje skeneru. Tento ruční skener váží 0,9 kg.



Zdroj: Artec 3D, 2020

Obr. 13 Ruční skener Artec Eva

Tab. 12 Technická charakteristika skeneru Artec Eva

Nástroje skeneru	Parametr
Přesnost	0,1 mm
Rozlišení	0,2 mm
Rychlost	18 milionů bodů / s
Pracovní vzdálenost	0,4 – 1 m
Skenovací plocha	214 x 148 mm ² – 536 x 371 mm ²

Zdroj: Artec 3D, 2020

3 Návrh řešení problematiky

Tato kapitola poskytne náměty pro kategorizaci 3D skenerů. Na začátku je třeba zmínit, že polystyrenové modely a odlitky mají různě složité tvary a nezáleží jen na jejich rozměru. Proto bylo nutné vybrat 3D skenery s dobrými technickými charakteristikami.

Rozdělení měřicích přístrojů se provádí podle určitých požadavků v každé kategorii. Při rozhodování ve výběru hrají důležitou roli reálné podmínky. Například přibližná doba pro skenování objektů je 3 - 6 hodin, proto při práci s ručním 3D skenerem existuje velká pravděpodobnost, že nebude příjemné ho dlouhou dobu držet v ruce. Teplota může ovlivnit proces skenování stejně jako světelné podmínky. Pro dosažení přesnějších parametrů je nutné před každým měřením měřicí přístroje kalibrovat a použít body (značky) na objektu. Body mohou být rozmístěné operátorem¹ vedle nebo na skenovaném objektu.

Na základě tabulek 13 a 14 můžeme uvést nejlepší skenery podle různých technických vlastností.

Tab. 13 Rozlišení vybraných 3D skenerů

Pořadí	Druh	Název	Parametr
1	Dotykové	ALTERA M 25.10.12	0,0015 mm
2	Optické	AICON StereoScan Neo	0,002 mm
3	Dotykové	FARO Prime 1,8 m	0,019 mm
4	Laserové	ScanTech PRINCE335	0,02 mm
5	Laserové	Ace Skyline EYES 3,5 m	0,025 mm
6	Optické	FREETRAK a FREESCAN	0,05 mm
7	Optické	MICRON3D green stereo	0,078 mm
8	Optické	Go!SCAN	0,1 mm
9	Optické	HDI 120	0,11 mm
10	Optické	EviXscan 3D Heavy Duty Optima	0,2 mm
11	Optické	Artec Eva	0,2 mm
12	Optické	ATOS III Triple Scan	0,01 – 0,61 mm

Zdroj: Vlastní sestavení, 2020

¹ Operátor je člověk, který provádí operace 3D skenování.

Tab. 14 Přesnost vybraných 3D skenerů

Pořadí	Druh	Název	Parametr
1	Dotykové	ALTERA M 25.10.12	0,0015 mm
2	Optické	AICON StereoScan Neo	0,008 mm
3	Laserové	Ace Skyline EYES 3,5 m	0,009 mm
4	Optické	ATOS III Triple Scan	0,01 – 0,61 mm
5	Optické	MICRON3D green stereo	0,013 mm
6	Optické	EviXscan 3D Heavy Duty Optima	0,0183 mm
7	Dotykové	FARO Prime 1,8 m	0,027 mm
8	Laserové	ScanTech PRINCE335	0,03 mm
9	Optické	FREETRAK a FREESCAN	0,03 mm
10	Optické	Go!SCAN	0,05 mm
11	Optické	HDI 120	0,06 mm
12	Optické	Artec Eva	0,1 mm

Zdroj: Vlastní sestavení, 2020

3.1 Malé objekty

Skenování malých objektů vyžaduje přesnější vybavení, ale zároveň je jejich doba skenování kratší než v ostatních dvou kategoriích kvůli jejich rozměru. Pro tuto kategorii byly vybrány 3D skenery, jako ALTERA M 25.12.10, Ace Skyline EYES 3,5 m, AICON StereoScan Neo, MICRON3D green stereo, EviXscan 3D Heavy Duty Optima (dále jen Heavy Duty Optima), ATOS III Triple Scan. Všechna vybraná zařízení patří mezi nejpřesnější mezi popsanými 3D skenery v této práci a jejich přesnost se nachází mezi 0,0015 mm a 0,0183 mm. Podle technických charakteristik (viz Tab. 13 a 14) můžeme říct, že ALTERA M 25.12.10 je nejlepším řešením pro danou kategorii, díky vysoké přesnosti a rozlišení.

3.2 Střední objekty

Objekty v této kategorii představují střední rozměr a to znamená, že vybrané 3D skenery v této kategorii mohou být částečně vhodné pro další dvě. Pro střední objekty jsou vhodné Heavy Duty Optima, FARO Prime 1,8 m, FREETRAK a FREESCAN TRAK, Go!SCAN a ScanTech PRINCE335, ATOS III Triple Scan.

Pro střední kategorii byla vybrána zařízení s přesností mezi 0,015 mm a 0,05 mm. Na základě informací, které byly uvedeny v tabulce 14, lze přiřadit nejpřesnější Heavy Duty Optima 3D skener ke středním objektům. To neznamena, že ostatní jsou nevyhovující. Ostatní skenery mají "střední" technické charakteristiky, tzn. když firma nepotřebuje nej – v dané kategorii, může vybrat mezní.

3.3 Velké objekty

Tato kategorie představuje největší odlitky, které byly v této práci zkoumané. Znamená to, že takové objekty potřebují více času, pracovní možnosti zařízení pro provádění skenování. Vhodné skenery pro tuto kategorii jsou Artec Eva, HDI 120, Go!SCAN, ATOS III Triple Scan.

Doporučená mez přesnosti je od 0,05 mm až do 0,1 mm. Go!SCAN je zařazen na první místo podle přesnosti a rozlišení mezi zařízeními dané kategorie.

Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo představit inovační technologii 3D skenování, prozkoumat ji a předložit vhodné zařízení pro určité kategorie odlitků a polystyrenových modelů.

V teoretických kapitolách byla vysvětlena technologie 3D skenování a pojmy s ní související. Byly uvedeny oblasti, ve kterých se 3D skenování aktivně používá. Typy skenerů a jejich výhody a nevýhody, principy skenování byly popsány v jednotlivých kapitolách. Mezi hlavní kategorie patří skenery kontaktní a bezkontaktní. Pojmenované dvě kategorie skenerů mají své vlastní podkategorie, které byly také popsány.

Do praktické části byly zahrnuty požadavky skenování, na které se orientoval výběr 3D skeneru. Objekty byly rozříděny a opatřeny povinnými podmínkami. Byly popsány materiály, z nichž sestávají, a problémy, se kterými je možné se setkat při procesu. Tato kapitola poskytla také technické parametry zařízení a vysvětlení použitých technologií. Pro lepší srovnání byly vybrány podobné parametry každého 3D skeneru.

V závěru praktické části byla popsána doporučení pro jednotlivé kategorie. Vybrané technické vlastnosti upřesnily výběr a ukázaly, která zařízení byla nej přesnější, nejrychlejší a nejlepší pro danou kategorii. Byly také uvedeny meze přesnosti pro každou kategorii, na které se orientovala autorka práce.

Technologie 3D skenování není zdaleka jednoduchá, avšak neustále se vyvíjí. Existuje proto spousta důvodů, ale ty nejzávažnější lze rozlišit. Takové zařízení je především nezbytné pro všechny průmyslové podniky pro levnější a rychlejší vývoj, kontrolu kvality vyrobených produktů. 3D skener je nepostradatelnou součástí provozů právě pro modelování nových nebo stálých produktů a vytváření katalogů. Realistické kopie skutečných předmětů se nyní používají v mnoha oblastech činnosti: v medicíně, kinemtografii, modním průmyslu. Výroba 3D skenerů již dávno přestala být jen fantazií. Nyní je vyrábějí společnosti od průmyslových lídrů až po nováčky tohoto trhu. Existují však předpoklady, že v blízké budoucnosti budou 3D měřicí zařízení dvakrát lehčí a rychlejší.

Seznam literatury

BELLOCCHIO, F., PIURI, V., FERRARI, S. *3D Surface Reconstruction: Multi-Scale Hierarchical Approaches*. New York: Springer Publishing, 2013. 162 s. ISBN 978-1-461-45631-5.

CHEN, T. *New 3D Scanning Techniques for Complex Scenes: Skin, Jelly Candy, Alabaster, Fruits and More*. Oxford: Omniscryptum Publishing Group, 2009. 108 s. ISBN 978-3-639-20656-2.

MIZERÁK, M., EDL, M., TROJAN, J. *3D LASER SCANNERS: HISTORY AND APPLICATIONS*. Acta Simulatio., 2018. 5s. ISSN 1339-9640. Dostupné z: http://actasimulatio.eu/issues/2018/IV_2018_01_Edl_Mizerak_Trojan.pdf

Seznam internetových zdrojů:

Analís [online]. Namur: Analís Scientific Instruments, 2020. Dostupné z: <https://analís.be/en-us/>

ANIWAA [online]. Singapur: Aniwaa Pte. Ltd., 2020. Dostupné z: <https://www.aniwaa.com/>

Artec 3D [online]. Lucembursko: Artec 3D, 2020. Dostupné z: <https://www.artec3d.com/>

Creaform [online]. Lévis: Creaform Inc., 2020. Dostupné z: <https://www.creaform3d.com/en>

EVIXSCAN 3D [online]. Bílsko-Bělá: Evatronix S.A., 2017. Dostupné z: <https://evixscan3d.com/>

FARO [online]. Lake Mary: FARO Technologies, Inc., 2020 [2020-03-11]. Dostupné z: <https://www.faro.com/> neboli <https://knowledge.faro.com/>

GLOBATEK.3D [online]. Moskva: Globatek JSC, 2020. Dostupné z: <https://3d.globatek.ru/>

GOM [online]. Brunšvik: GOM GmbH, 2020. Dostupné z: <https://www.gom.com/>

Kreon [online]. Limoges: KREON Technologies, 2020. Dostupné z: <https://kreon3d.com/>

LK Metrology [online]. Derby: LK Metrology Ltd., 2018. Dostupné z: <https://www.lkmetrology.com/>

Manchester Metrology [online]. Ashton-Under-Lyne: Manchester Metrology Ltd., 2020. Dostupné z: <https://manchester-metrology.co.uk/>

SHINING 3D [online]. Chang-čou: SHINING 3D Tech. Co., Ltd., 2019. Dostupné z: <https://www.shining3d.com/>

SMARTTECH 3D [online]. Varšava: SMARTTECH Ltd., 2020. Dostupné z: <https://www.smarttech3d.com/>

Sonatek (Сонатек) [online]. Moskva: Sonatek s.r.o. (ООО „Сонатек“), 2020. Dostupné z: <https://sonatec.ru/>

Top3DShop [online]. Moskva: Integrator cifrovych reseni s.r.o (ООО „Интегратор Цифровых Решений“), 2020. Dostupné z: <https://top3dshop.ru/>

3D Control [online]. Kaluga: 3D Control s.r.o. (ООО „3Д Контроль“), 2019. Dostupné z: <https://3dcontrol.ru/>

Seznam obrázků a tabulek

Seznam obrázků

Obr. 1 3D skener typu CMM ALTERA M	11
Obr. 2 FARO Prime	12
Obr. 3 ScanTech PRINCE335	15
Obr. 4 Ace Skyline EYES	16
Obr. 5 Sledovač FREETRAK a skener FREESCAN TRAK	17
Obr. 6 Princip trojitého skenování	17
Obr. 7 ATOS III Triple Scan.....	18
Obr. 8 AICON StereoScan Neo.....	19
Obr. 9 MICRON3D green stereo	19
Obr. 10 Ruční skener Go!SCAN.....	20
Obr. 11 Heavy Duty Optima	21
Obr. 12 HDI 120	22
Obr. 13 Ruční skener Artec Eva.....	23

Seznam tabulek

Tab. 1 Technická charakteristika FARO Prime 1,8 m.....	14
Tab. 2 Technická charakteristika skeneru ALTERA M 25.12.10.....	14
Tab. 3 Technická charakteristika ScanTech PRINCE335	15
Tab. 4 Technická charakteristika Ace Skyline EYES 3,5 m.....	16
Tab. 5 Technická charakteristika sledovače FREETRAK a skeneru FREESCAN TRAK.....	17
Tab. 6 Technická charakteristika skeneru ATOS III Triple Scan	18
Tab. 7 Technická charakteristika skeneru AICON StereoScan Neo R8	19
Tab. 8 Technická charakteristika MICRON3D green stereo.....	20

Tab. 9 Technická charakteristika Creaform Go!SCAN	20
Tab. 10 Technická charakteristika Heavy Duty Optima	21
Tab. 11 Technická charakteristika skeneru HDI 120	22
Tab. 12 Technická charakteristika skeneru Artec Eva.....	23
Tab. 13 Rozlišení vybraných 3D skenerů	24
Tab. 14 Přesnost vybraných 3D skenerů.....	25

ANOTAČNÍ ZÁZNAM

AUTOR	Darya Nikiforova		
STUDIJNÍ PROGRAM/OBOR/SPECIALIZACE	6208R186 Podniková ekonomika a řízení provozu, logistiky a kvality		
NÁZEV PRÁCE	Inovace v 3D skenování odlitků a polystyrenových modelů ve výrobě nářadí		
VEDOUCÍ PRÁCE	Ing. František Starý		
KATEDRA	KSE - Katedra strojírenství a elektrotechniky	ROK ODEVZDÁNÍ	2020
POČET STRAN	31		
POČET OBRÁZKŮ	13		
POČET TABULEK	14		
POČET PŘÍLOH	0		
STRUČNÝ POPIS	Bakalářská práce zkoumá technologie 3D skenování a možnosti jejího využití ve výrobě nářadí. Cílem práce je seznámit s inovacemi v oblasti 3D měření objektů, popsat a navrhnout vhodné řešení. Práce obsahuje vysvětlení principů 3D skenování různých typů skenerů, jejich přiřazení k určitým rozměrovým kategoriím odlitků a polystyrenových modelů.		
KLÍČOVÁ SLOVA	3D skener, laserový skener, optický skener, CMM, měřicí ruka.		

ANNOTATION

AUTHOR	Darya Nikiforova		
FIELD	6208R186 Business Administration and Operations, Logistics and Quality Management		
THESIS TITLE	Innovations in 3D scanning of castings and polystyrene models in tools production.		
SUPERVISOR	Ing. František Starý		
DEPARTMENT	KSE - Department of Mechanical and Electrical Engineering	YEAR	2020
NUMBER OF PAGES	31		
NUMBER OF PICTURES	13		
NUMBER OF TABLES	14		
NUMBER OF APPENDICES	0		
SUMMARY	<p>The bachelor thesis examines 3D scanning technology and the possibilities of its use in the production of tools. The aim of the work is to acquaint with innovations in the field of 3D measurement of objects, to describe and design a suitable solution. The work contains an explanation of the principles of 3D scanning of various types of scanners, their assignment to certain dimensional categories of castings and polystyrene models.</p>		
KEY WORDS	3D scanner, laser scanner, optical scanner, CMM, jointed arm.		