

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta strojní

Ústav technologie obrábění, projektování a metrologie



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Možnosti využití chromatického senzoru bílého světla
při rozměrové kontrole kvality

Autor: Dominik Smutný

Studijní obor: Technologie, materiály a ekonomika strojírenství

Vedoucí práce: Ing. Libor Beránek, Ph.D.

Praha 2018

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Smutný** Jméno: **Dominik** Osobní číslo: **438338**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávající katedra/ústav: **Ústav technologie obrábění, projektování a metrologie**
Studijní program: **Výroba a ekonomika ve strojírenství**
Studijní obor: **Technologie, materiály a ekonomika strojírenství**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Možnosti využití chromatického senzoru bílého světla při rozměrové kontrole kvality

Název bakalářské práce anglicky:

The possibility of using chromatic white light sensor in dimensional quality control

Pokyny pro vypracování:

1. Význam kontroly kvality v rámci systému managementu kvality
2. Typy senzorů využívaných v oblasti souřadnicového měření
3. Princip fungování chromatického senzoru bílého světla
4. Výhody a nevýhody využití, typické aplikace

Seznam doporučené literatury:

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

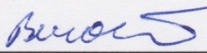
Ing. Libor Beránek, Ph.D., ústav technologie obrábění, projektování a metrologie FS

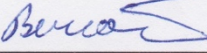
Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

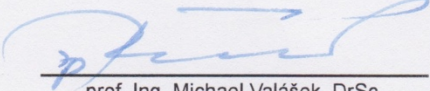
Datum zadání bakalářské práce: **09.04.2018**

Termín odevzdání bakalářské práce: **31.07.2018**

Platnost zadání bakalářské práce: _____


Ing. Libor Beránek, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce


Ing. Libor Beránek, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

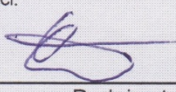

prof. Ing. Michael Valášek, DrSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

24.4.2018

Datum převzetí zadání


Podpis studenta

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto práci vypracoval samostatně a použil jsem literárních pramenů a informací, které uvádím v seznamu použité literatury.

V Praze dne

.....

Poděkování

Rád bych poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce Ing. Liboru Beránkovi, Ph.D. za jeho cenné rady, čas a pomoc, které mi věnoval. Dále bych rád poděkoval Ing. Vladimíru Šulcovi za pomoc při měření praktické části této práce. V neposlední řadě bych rád poděkoval své rodině, především své sestře, za jejich podporu při psaní této práce a během celého studia.

Abstrakt

Tato práce se zabývá využitím chromatického senzoru bílého světla jako snímacího systému u tříosých měřicích strojů. Měřicí stroje se využívají ve strojírenství ke kontrole kvality nejrůznějších součástí, ať už se jedná o výchozí nebo finální produkty. Při kontrole kvality se ověřuje, zda daná součást splňuje zadané požadavky na její parametry jako je délka, úhel, kruhovitost či jiné vlastnosti. Kvůli přísnějším a rozmanitějším požadavkům na tyto parametry je nutné zdokonalovat a zlepšovat i měřicí stroje. Senzor bílého světla představuje druh bezdotykového stroje, pomocí kterých lze měřit i křehké součásti. Oproti jiným bezdotykovým strojům tato optická metoda umožňuje měřit širší spektrum materiálů jako jsou součásti s reflexním povrchem. V praktické části této práce demonstrujeme možnost měřit součást z lisovaného tenkostěnného skla, konkrétně skla z automobilu. Kromě možnosti měření takové materiálu senzorem bílého světla zároveň ukazujeme, že přesnost měření v podstatě nezávisí na rychlosti snímání součástí. Maximální dosažená rychlost snímání v našem případě činila 29 mm/s. Dále ukazujeme, že při měření dotykovým senzorem by došlo k deformaci této součásti. Při simulaci takového měření došlo u měřené součásti k průhybu 0,013 mm.

Klíčová slova: CMM, měřicí systémy, chromatický senzor bílého světla, kontrola kvality

Abstract

This bachelor thesis focuses on the usage of a chromatic white light sensor as a probing system at three-dimensional measuring machines. Coordinate-measuring machines (CMM) are employed in engineering for quality control of different components that can serve as a primary or final product. During quality control, we check if the particles fulfil customers' requirements. The parameters examined are such as length, angle, circularity etc. Due to the requirements for the parameters getting stricter and more extended it is necessary to improve the performance of CMM as well. The white light sensor is part of non-contact machines that are capable of measuring even the components made of fragile materials. Compared to other non-contact machines, this optic method enables us to measure components from various materials, even the components with a reflective surface. The empirical part of this thesis is demonstrating the ability of CMM with a white light sensor to measure the car component made of moulded thin-walled glass. Further, we show that the measurement accuracy basically does not depend on the probing speed. The maximal attained speed was 29 mm/s in our case. Finally, we demonstrate that measuring this concrete component by contact CMM would cause the deformation of the material. Concretely, during the simulations of the similar load, our component recognised the 0,013 mm deflection.

Keywords: CMM, measuring systems, chromatic white light sensor, quality control

Obsah

Abstrakt	v
Abstract.....	vi
Seznam obrázků	viii
Seznam tabulek.....	x
1 Úvod	1
2 Kontrola kvality a systém managementu kvality.....	3
2.1 Plánování kvality.....	5
2.2 Kontrola kvality	6
2.3 Prokazování kvality	6
2.4 Zlepšování kvality	8
3 Souřadnicová měřicí technika	9
3.1 Rozdělení souřadnicových strojů	10
3.2 Snímací systém CMM.....	12
3.2.1 Dotykové snímací systémy.....	13
3.2.2 Bezdotykové snímací systémy	15
4 Senzor bílého světla.....	21
4.1 Bílé světlo	21
4.2 Princip fungování senzoru bílého světla	21
4.3 Typické aplikace.....	22
5 Měření s využitím CFS senzoru.....	24
5.1 Postup měření.....	28
5.2 Závislost přesnosti výsledků na rychlosti měření.....	32
5.3 Vliv zatížení na deformaci součásti	35
5.4 Výsledky měření.....	37
6 Závěr	39
Použitá literatura	41
Seznam příloh	44

Seznam obrázků

Obrázek 1: Rozdělení činností v managementu kvality [2]	4
Obrázek 2: Požadavky na systém managementu kvality	5
Obrázek 3: Schéma PDCA metody [9]	8
Obrázek 4: Délkoměr [26].....	10
Obrázek 5: Profilprojektor [25]	11
Obrázek 6: Tříosý měřicí stroj [27].....	11
Obrázek 7: Konstrukce tříosých měřicích strojů [12]	12
Obrázek 8: Rozdělení snímacích systémů CMM	13
Obrázek 9: Snímací systém v otočné (vlevo) a v pevné hlavě (vpravo) [19].....	14
Obrázek 10: Schéma spínacího snímacího systému [13]	14
Obrázek 11: Schéma skenovacího snímacího systému [13].....	15
Obrázek 12: Schéma senzoru pro zpracování obrazu [13].....	16
Obrázek 13: Kamerová snímací hlava [19]	17
Obrázek 14: Laserový senzor na Foucaultově principu se senzorem zpracování obrazu [13].....	18
Obrázek 15: Schéma liniového laser scanneru [13]	19
Obrázek 16: Schéma pruhové projekce [13]	19
Obrázek 17: Schéma fungování fotogrammetrie [13].....	20
Obrázek 18: Spektrum viditelného světla (vlnová délka je uvedena v nm) [16]	21
Obrázek 19: Schéma fungování senzoru bílého světla [20]	22
Obrázek 20: Měřicí laboratoř	24
Obrázek 21: Součást k měření - automobilové sklo	24
Obrázek 22: Nastavení CFS senzoru v programu Calypso	28
Obrázek 23: Základní sada ALUFIX [23].....	29
Obrázek 24: Upnutí měřené součásti.....	29
Obrázek 25: Navolení prostorových bodů.....	31
Obrázek 26: Snímání bodů pomocí dotykového senzoru.....	31
Obrázek 27: Zvolené 3D křivky	32
Obrázek 28: Strategie měření 3D křivek.....	33
Obrázek 29: Výsledek měření 3D křivek	33
Obrázek 30: Naměřené hodnoty v závislosti na rychlosti.....	35
Obrázek 31: Umístění závaží na měřenou součást.....	36

Obrázek 32: Porovnání výsledků měření dlouhé 3D křivky součásti bez závaží (horní obrázek) a se závažím (spodní obrázek)	36
Obrázek 33: Protokol měření pro zjištění deformací	37

Seznam tabulek

Tabulka 1: Parametry pro určení přesnosti měření na VAST XXT senzoru [22]	26
Tabulka 2: Parametry různých senzorů CFS [22]	27
Tabulka 3: Možnosti nastavení senzoru CFS pro různé typy materiálů.....	27
Tabulka 4: Parametry měření pro zhodnocení závislosti přesnosti na rychlosti měření.	34

1 Úvod

Kontrola kvality je nedílnou součástí výroby v nejrůznějších průmyslových odvětvích, především ve strojírenství. Kontroluje se kvalita výchozích materiálů a surovin a poté kvalita finálního výrobku, který musí splňovat zákaznické požadavky či očekávání. Ve strojírenství se klade důraz především na přesné rozměry výrobku, jde o přesnou délku jednotlivých úseků, o drsnost povrchu, o přesně vykreslené úhly, zákruty a jiné charakteristiky. Pro zajištění požadované kvality výrobku není důležité pouze ověřovat jeho finální parametry, ale je důležité už od prvního kroku nastavit celý výrobní proces tak, abychom dosáhli požadované kvality a abychom minimalizovali chyby během celého procesu. Tím se zabývá systém managementu kvality, který doprovází celý výrobní proces a má efektivně zajistit co nejvyšší kvalitu výrobku díky dobře navrženému výrobnímu procesu spolu s informovanými a motivovanými zaměstnanci.

Samotným ověřováním konkrétních parametrů výrobku, které je pouze jedním z mnoha kroků systému managementu kvality, se zabývá metrologie, tedy věda pro zajištění jednotného a přesného měření v různých oblastech. Ve strojírenství se k měření základních geometrických prvků využívají především souřadnicové měřicí stroje. Moderní stroje dokáží kromě běžných veličin, jako je délka nebo úhel, změřit i kruhovitost, kuželovitost a jiné složitější parametry.

Pro lepší a přesnější měření se v čase vyvíjely stále jiné způsoby měření a zároveň se zkoušelo využívat různých principů. Jedním z novějších principů v souřadnicové měřicí technice je měření na základě využití senzoru bílého světla. Takový měřicí stroj pracuje bezdotykově, proto nehrozí deformace měřené součásti. Další výhodou oproti jiným bezdotykovým sensorům je možnost měřit součásti z transparentního materiálu nebo s reflexním povrchem. Naopak nevýhodou může být těžká měřitelnost součástí s ostrým úhlem a menší rozsah měření.

V praktické části této práce se zabýváme využitelností souřadnicového měřicího stroje právě se senzorem bílého světla. Konkrétně jsme vyzkoušeli měření tenkostěnného skla z automobilu, které například není možné měřit pomocí dotykového senzoru, jelikož by mohl měřenou součást poškodit.

Tato práce je koncipována následujícím způsobem. Druhá kapitola se zabývá základními koncepty systému managementu kvality. Třetí kapitola popisuje různé druhy souřadnicových měřicích strojů a ukazuje zařazení senzoru bílého světla mezi ostatní

senzory. Další kapitola se věnuje samotnému bílému světlu a jeho využití v metrologii. Pátá kapitola přináší měření konkrétní součásti pomocí senzoru s bílým světlem. Poslední kapitola šestá uzavírá celou práci.

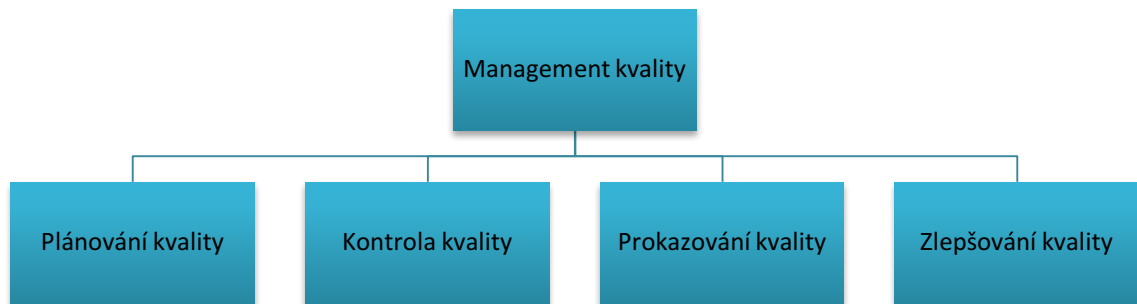
2 **Kontrola kvality a systém managementu kvality**

Kontrola kvality se uplatňuje v nejrůznějších průmyslových odvětvích jako je farmacie, potravinářství či strojírenství. Pod pojmem jakost nebo kvalita se rozumí schopnost produktu či výrobku uspokojit požadavky zákazníka, výrobce či jiné organizace a celé společnosti, to znamená splnit i veškeré legislativní předpisy. Je to tedy soubor znaků, které musí výrobek splňovat nebo se od výrobku očekávají. Ve strojírenství se především klade důraz na přesnost rozměrů a tvaru výrobku, které jsou zadány spotřebitelem. Kontrola jakosti se však neprovádí pouze u finálního výrobku, ale i v rámci celého výrobního procesu.

Ve větších společnostech se zaměstnanec na pozici kontrolora kvality zabývá nejen kvalitou nejrůznějších produktů či procesů, zároveň také aplikuje tak zvaný systém managementu kvality. Tento systém se zabývá propojením činností a opatření zaměřených na požadavky kvality a udržování její hodnoty na požadované úrovni. Zároveň vytváří zpětnou vazbu pro výrobní proces, který analyzuje a snaží se vylepšit tak, aby kvalita výrobku rostla.

Cílem systému managementu kvality je tedy zajistit schopnost produktu naplnit kladené požadavky. Na prvním místě jsou to požadavky dané platnou legislativou, následuje zabezpečení kvality podle norem, které nejsou povinné, ale v praxi se používají téměř bez výjimek. Mezinárodní doporučení pro zajišťování kvality jsou ISO normy řady 9000 vydávané Mezinárodní organizací pro normalizaci (ISO – International Organization for Standardization). Konkrétně samotným principům systému managementu kvality se věnuje norma ISO 9001, která je jeho standardem. Od této základní normy je odvozena norma ČSN EN ISO 9001, která je zároveň i českou technickou normou a evropskou normou a harmonizuje požadavky do podoby jednoho dokumentu. Jednou z výhod této normy je kromě jejího širokého působení i její univerzálnost. Představuje obecné principy, které je možné aplikovat v jakémkoliv odvětví na jakýkoliv výrobní proces či typ výrobku. Samotný systém managementu kvality pak zahrnuje celou řadu činností, které je možné rozdělit do několika na sebe navazujících kategorií. Těmito kategoriemi jsou: plánování kvality, kontrola či řízení kvality, prokazování kvality a zlepšování kvality (viz Obrázek 1). Normy jsou také neustále upravovány a aktualizovány, aby co nejlépe pokryly požadavky zákazníků a pomáhaly společnostem v jejich plnění. V případě, že společnost dodržuje principy

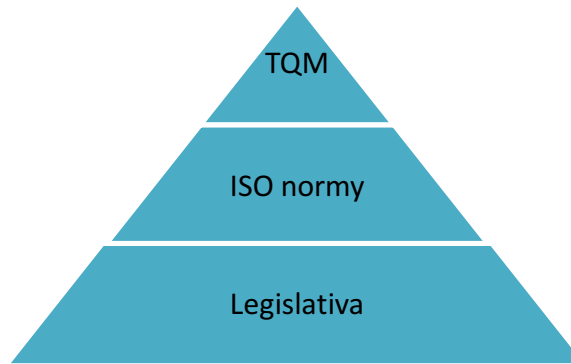
systemu managementu kvality dle dané normy, může zažádat o certifikát. S certifikací je pak spojená i pravidelná kontrola společnosti, zda systém dodržuje a rozvíjí. Certifikované společnosti pak mají oproti ostatním společnostem konkurenční výhodu. [1; 2]



Obrázek 1: Rozdělení činností v managementu kvality [2]

Management kvality je také možné následovat nejen podle obecných ISO norem, ale podle odvětvových standardů. Tyto standardy jsou více specifické pro dané odvětví, neexistují však pro všechna odvětví v průmyslu. Pro oblast strojírenství existuje certifikační standard The Mark od Americké společnosti strojírenských inženýrů (ASME - The American Society of Mechanical Engineers). Taková certifikace opět ujišťuje zákazníka, že procesy kontroly kvality, samotné produkty a součástky jsou bezpečné, kvalitní a spolehlivé. [2; 3]

Po splnění legislativních požadavků, řízení kvality podle norem ISO či odvětvových standardů je dále možné ještě následovat tak zvaný totální management kvality TQM (viz Obrázek 2). Totální management kvality opět vychází z ISO normy 9001, podle které je definován jako: „*manažerský přístup určený pro organizaci, soustředěný na kvalitu, založený na zapojení všech jejích členů a zaměřený na dlouhodobý úspěch dosahovaný prostřednictvím uspokojení zákazníka a prospěšnosti pro všechny členy organizace i pro společnost.* [4]“ Tento koncept apeluje na aktivní zapojení všech zaměstnanců na trvalém zlepšování procesů ve společnosti. Totální management kvality je spíše filozofií než souborem pravidel, kterými by se dalo jasně řídit, proto v minulosti vznikly různé praktické modely. Příkladem může být Model Excellence vyvinutý Evropskou nadací pro management kvality (EFQM – European Foundation for Quality Management). [2; 5]



Obrázek 2: Požadavky na systém managementu kvality

2.1 Plánování kvality

Plánování kvality je prvním a v podstatě nejdůležitějším krokem v systému managementu kvality. Při plánování se obecně stanoví, jakých cílů chce v jakosti daná organizace dosáhnout a jak. Formulují se tedy cíle a prostředky pro jejich plnění. Například se definují parametry finálního výrobku, které zákazník požaduje, jak těchto vlastností či parametrů dosáhnout, jaké zdroje a zařízení jsou k tomu nutné, jaké metody se budou uplatňovat při kontrole jednotlivých procesů a vlastností výrobku, dále postupy následující v případě nenaplnění požadovaných parametrů a metody vedoucí k nápravě. Při plánování by tedy měl vzniknout postup, který by měl vést k dosažení předem určených cílů. Výstupem plánování kvality pak bývá dokument zvaný plán kvality či jakosti, který se stává v rámci organizace závazným. [2]

Důležitou součástí plánování je předcházet nejrůznějším problémům při výrobě a vadám finálního výrobku. Mluví se o tzv. strategii prevence, která je důležitější než strategie detekce. Dříve byl kladen důraz právě na detekci vzniklých vad či potíží tak, aby se nedostaly chybné výrobky k zákazníkovi. Dnes se naopak při plánování kvality již předem snažíme odhalovat všechny kroky výrobního procesu, u kterých by mohlo dojít k neshodám a předem těmto problémům předcházet účinnými opatřeními. Jednou z metod, která se uplatňuje při plánování kvality, je FMEA (Failure Mode and Effects Analysis), což je preventivní metoda, která slouží k analýze výskytu, příčin a důsledku vad pomocí různých nástrojů. Cílem je realizovat preventivní opatření již v rané fázi vývoje a výroby a tím významně ušetřit čas a finance. Problémům se tedy předchází ještě dříve, než mohou vůbec nastat. Prevence je účinnější a ekonomicky výrazně výhodnější než detekce již vzniklých potíží. [6]

2.2 Kontrola kvality

Po plánování se přistupuje k samotné kontrole kvality, která probíhá způsobem stanoveným v plánu kvality. V něm by měl být definován objekt kontroly, místo, metoda, rozsah a další specifikace. Při kontrole kvality suroviny, materiálu či výrobku je často nutné provádět nejrůznější měření. Měřením se zabývá věda metrologie, tedy věda zabývající se všemi druhy měření a je základem jednotného a přesného měření ve všech oblastech. Metrologie vede ke sjednocování jednotek soustav a způsobu vyjadřování výsledků měření. Díky metrické konvenci byl přijat systém jednotek a jejich etalonů. V České republice se metrologií zabývá především Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví (ÚNMZ) a Český metrologický institut, které spadají pod Ministerstvo průmyslu a obchodu. ÚNMZ utváří a vydává české technické normy. [2]

Pro kontrolu kvality je obzvláště důležité získávat při měření přesná a správná data. Naměřená data musí být zároveň ve vhodném formátu pro jejich další zpracování. Na základě naměřených dat se činí další rozhodnutí, která mohou ovlivňovat celý výrobní proces. Bez kvalitních dat není možné správně rozhodovat, jelikož efektivita managementu kvality jasně závisí na naměřených datech. Základem jsou tedy správně naměřené údaje, které se analyzují pomocí různých statistických metod a slouží tak jako podklad při prokazování kvality. [7]

2.3 Prokazování kvality

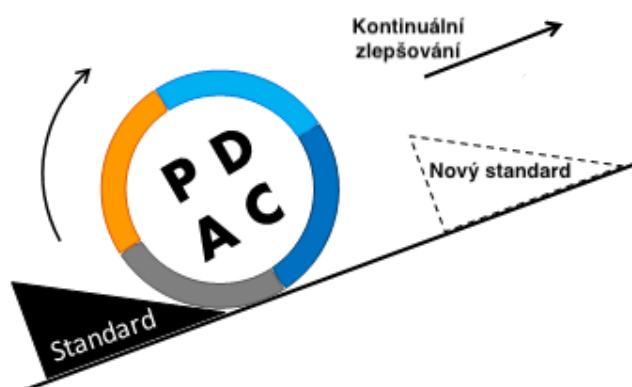
Po kontrole kvality, tedy po změření různých veličin, se konkrétně u výrobků posuzuje shoda výrobku s požadovanou specifikací, tedy s požadovanou úrovní kvalitativních a kvantitativních znaků. Tím může být shoda rozměrů, drsnosti povrchu nebo hmotnosti výrobku. Pro posouzení shody se výsledky měření porovnávají s požadovaným rozmezím hodnot a pomocí různých statistických metod se rozhoduje o shodě či neshodě výrobku. Při porovnání je důležité zahrnovat i nejistoty výsledku měření, které nastávají kvůli náhodným nebo i systematickým chybám v měření. Při neshodě s požadovanými vlastnostmi se u výrobku či materiálu rozhodujeme, zda je dále použitelný. Pokud lze neshodu odstranit, můžeme výrobek přepracovat například na výrobek odpovídající jiné jakostní třídě nebo jej můžeme využít k jinému účelu. Pokud žádná z těchto možností není relevantní, pak je třeba výrobek zlikvidovat.

Prokazování kvality se samozřejmě netýká pouze surovin, materiálů či výrobků. Kontrola kvality se zabývá i kvalitou procesů, například výrobních procesů. Z naměřených dat u finálních výrobků například můžeme vidět, zda v procesu nedochází k nějakým systematickým nebo náhlým chybám. Změna některého parametru ve výrobním procesu může negativně ovlivnit kvalitu výrobku a v takovém případě je třeba hledat příčinu chyby. Příčinou může být nová součástka stroje, jiný dodavatel materiálu či nový pracovník. Jsou to opět různé statistické metody, které pomocí naměřených dat vyhodnocují, zda je změna v datech dostatečně výrazná (tedy nezpůsobena pouze náhodnými chybami, které nelze ovlivnit) a je tedy potřeba se na daný proces zaměřit, aby došlo k nápravě. Příkladem takové metody je Shewhartův regulační diagram, díky kterému se určuje, zda daný proces funguje správně či v něm nastaly náhlé změny a je třeba hledat jejich příčiny. [2; 8]

Pod prokazování kvality spadají i audity, které jsou naprosto běžné ve větších podnicích. Audity rozlišujeme na interní a externí. Interními audity se často rozumí audity, které provádějí sami zaměstnanci dané organizace, a externí audity naopak osoby zvenčí. Toto rozdělení auditů však není zcela správné. Interní audity jsou takové, jejichž výsledky slouží především pro společnost samotnou. Externí audity slouží jiným společnostem (například dodavatelům nebo odběratelům) či certifikačním orgánům. Externí audity ověřují pouze fungování systému managementu kvality a zda je na dostatečné úrovni ať už pro spolupráci s dalšími firmami nebo pro udělení či prodloužení certifikace. Interní audity jsou však ty, které slouží samotné společnosti k ověření správné aplikace a efektivního fungování principů systému managementu kvality a tím i k ověření, zda jsou správně kontrolovány různé produkty a procesy, čímž se zajišťuje jejich kvalita. Interní audity mohou posloužit ke zlepšení celkového fungování jednotlivých procesů. Pro provádění auditu systému managementu kvality je možné využít ISO normy řady 19011. Audity mohou být rozlišeny podle jejich zaměření na audity produktu, audity procesu a audity systému. U každého druhu auditu se přezkoumává dokumentace, zda realita odpovídá zapsaným výsledkům a zda tyto výsledky odpovídají původně stanoveným cílům. Pokud se během auditu zjistí nějaké neshody či nedostatky, tak jsou zapsány do výsledků auditu, zároveň se určí osoba, která zjedná nápravu a lhůta, do které má být náprava hotová. Audit se může považovat za dokončený až po zkontrolování, že došlo k nápravě. Audit tedy neupozorňuje pouze na vzniklé nedostatky, ale zároveň slouží i k jejich nápravě. Audity se mohou provádět plánovaně či neplánovaně. [5; 2]

2.4 Zlepšování kvality

Cílem společností by nemělo být pouze dodržovat stanovený plán kvality, ale neustále pracovat na zlepšování všech procesů a hledání nových cest ke zvyšování celkové výrobní kvality. Tím se rozumí třeba i vyšší jakost finálního produktu. Ke strategickému zlepšování kvality může posloužit například metoda PDCA, což je zkratka čtyř kroků této metody – plan & do & check & act, tedy naplánuj & proved' & zkontroluj & jednej (Obrázek 3). V prvním kroku je třeba shromáždit veškeré informace o problémech a jejich příčinách nebo o námětech na zlepšení. Na základě toho navrhnout co nejlepší řešení a plán jejich plnění. Dalším krokem je realizace naplánovaných kroků. Poté následuje vyhodnocení účinků provedených kroků. Pokud navržené a provedené řešení funguje správně a naplňuje stanovené cíle či zjednává dostatečnou nápravu problémů, pak je trvale převedeno do praxe a stává se novým standardem. Poté se znovu vracíme na začátek ke kroku P a navrhují se další řešení a zlepšení pro dosažení vyšší úrovně. [9; 7]



Obrázek 3: Schéma PDCA metody [9]

3 Souřadnicová měřicí technika

Předchozí kapitola se věnovala systému managementu kvality, který má vést a zaručit kvalitu nejen výrobku ale i všech procesů ve společnosti. Nyní se však budeme věnovat především kvalitě výrobků ve strojírenství, ať už se jedná o finální produkt nebo o meziprodukty. U výrobků ve strojírenství je velmi důležité sledovat přesnost všech zadaných parametrů. Pro zjišťování kvantitativních parametrů se využívají nejrůznější měřicí techniky, kterými se bude zabývat tato kapitola. Konkrétně se jedná o souřadnicové měřicí stroje (dále jen CMM), které se využívají k měření základních geometrických prvků jako jsou délka, úhel, rovnoběžnost stran a další. Na rozdíl od jednodušších strojů však dokáží CMM změřit i tvar plochy, kruhovitost, kuželovitost a další náročnější parametry. Bez těchto moderních přístrojů by bylo obtížné tyto parametry měřit. [10]

Princip souřadnicových měřicích strojů

Principem souřadnicového měření je určení počátečního bodu v prostoru. Poloha ostatních bodů se odměřuje vzdáleností v jednotlivých osách X, Y, Z od zvoleného počátečního bodu. Většina přístrojů pracuje v kartézské soustavě, kde jsou všechny osy na sebe navzájem kolmé. Jsou však přístroje, které pracují na stejném principu jen nespádají do kartézské soustavy, například měřicí ramena. Souřadnice jednotlivých změřených bodů jsou přenášeny do počítače s vyhodnocovacím softwarem, který nám dokáže výsledky měření zobrazit jak v tabulce, tak v grafickém provedení. [10; 11]

Kritéria pro výběr CMM

Pořízení souřadnicových měřicích strojů je velice náročná a finančně nákladná práce. Před každým pořízením tohoto stroje by měl zákazník zvážit a důkladně promyslet kritéria a požadavky, které od stroje očekává. Proto by se měl řídit několika následujícími základními otázkami.

Nejdříve si položíme otázku, jakým způsobem chceme stroj používat. Zda bude stroj využíván v laboratoři, v malosériových nebo velkosériových výrobcích. Záleží i na druhu automatizace, zda nám postačí stroj s ručním ovládním nebo motorizovaná verze. Poté, co si ujasníme, jakým způsobem chceme stroj používat, nastává otázka, jaký očekáváme pracovní rozsah a přesnost daného stroje. U strojů s větším pracovním rozsahem je zákonitě menší přesnost měření. Proto volíme kompromis mezi velikostí

a přesností stroje na základě požadavků na přesnost a velikost našich výrobků. Dalším krokem je volba příslušenství, které budeme vyžadovat, aby náš měřicí stroj měl. Do tohoto kritéria patří zvolení správného snímacího systému, který musí být volen podle požadavků výroby. Nedílnou součástí CMM bývají počítače, tiskárny a další elektronika. Následně si vybereme dostačující programové vybavení. Každý výrobce nabízí základní měřicí program, ke kterému se dají přikoupit nadstavbové programy, proto je důležité si ujasnit, co od softwaru budeme vyžadovat.

Po posouzení všech předchozích kritérií zpravidla nastává situace, kdy tyto požadavky splní více výrobců. Proto se rozhodujeme nejen podle ceny, ale také podle nabízeného servisu a služeb, které nám výrobce nabízí. [10]

Postup měření na CMM:

- rozbor výkresové dokumentace
- správné upnutí součásti do CMM s následnou kalibrací přístroje
- rozdělení součásti na geometrické prvky, které potřebujeme změřit
- zavedení základního souřadnicového systému
- změření vybraných geometrických prvků
- vyhodnocení měřených prvků s následnou interpretací výsledků do protokolů.

3.1 Rozdělení souřadnicových strojů

Jedno z možných rozdělení souřadnicových přístrojů je podle počtu odměřovaných os. Podle něj rozlišujeme přístroje jednoosé, dvouosé a tříosé. Jednoosé měřicí stroje měří pouze v jedné ose (x), měří tedy pouze jeden parametr. Tyto stroje dosahují velké přesnosti a dokážou změřit i rozměrnější součástky. Příkladem tohoto typu měřicího stroje jsou komunální měřidla jako například délkoměry (Obrázek 4). [12]



Obrázek 4: Délkoměr [29]

Dvouosé měřicí stroje dokážou měřit ve dvou osách (x , y), které jsou na sebe navzájem kolmé. Toto měření se také nazývá 2D měření, tedy dvourozměrné. Takové měření se provádí na mikroskopech nebo profilprojektorech (Obrázek 5). [12]



Obrázek 5: Profilprojektor [28]

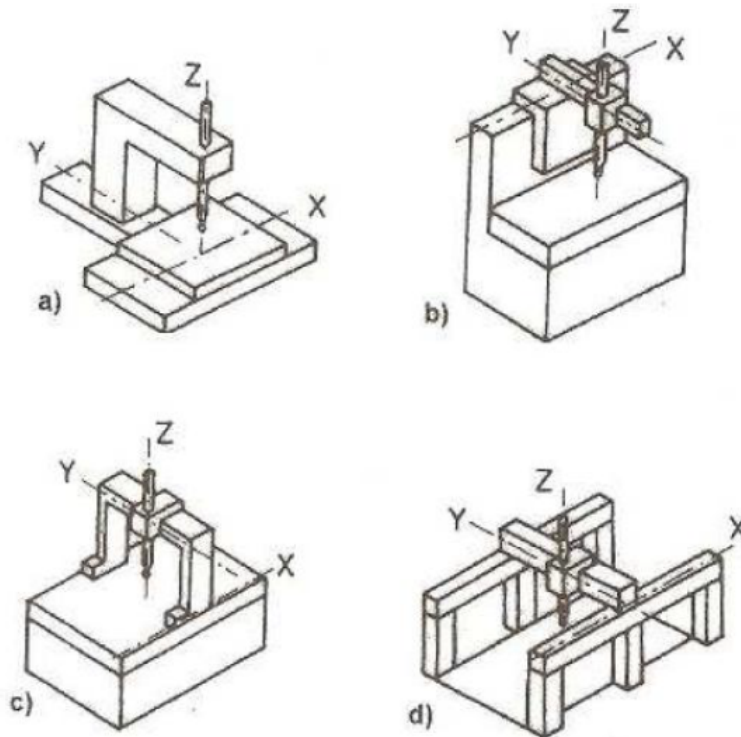
Tří a víceosé měřicí stroje dokážou měřit ve všech třech osách (x , y , z). Nové stroje obsahují otočný stůl nebo měřicí hlavu, která přidává větší variabilitu stroje. Takové měření se nazývá prostorové měření ve 3D. Tyto stroje označujeme jako CMM. Příklad stroje můžeme vidět na Obrázku 6. [12]



Obrázek 6: Tříosý měřicí stroj [30]

Třiosé měřicí přístroje můžeme dále dělit podle konstrukce přístroje, které mohou být:

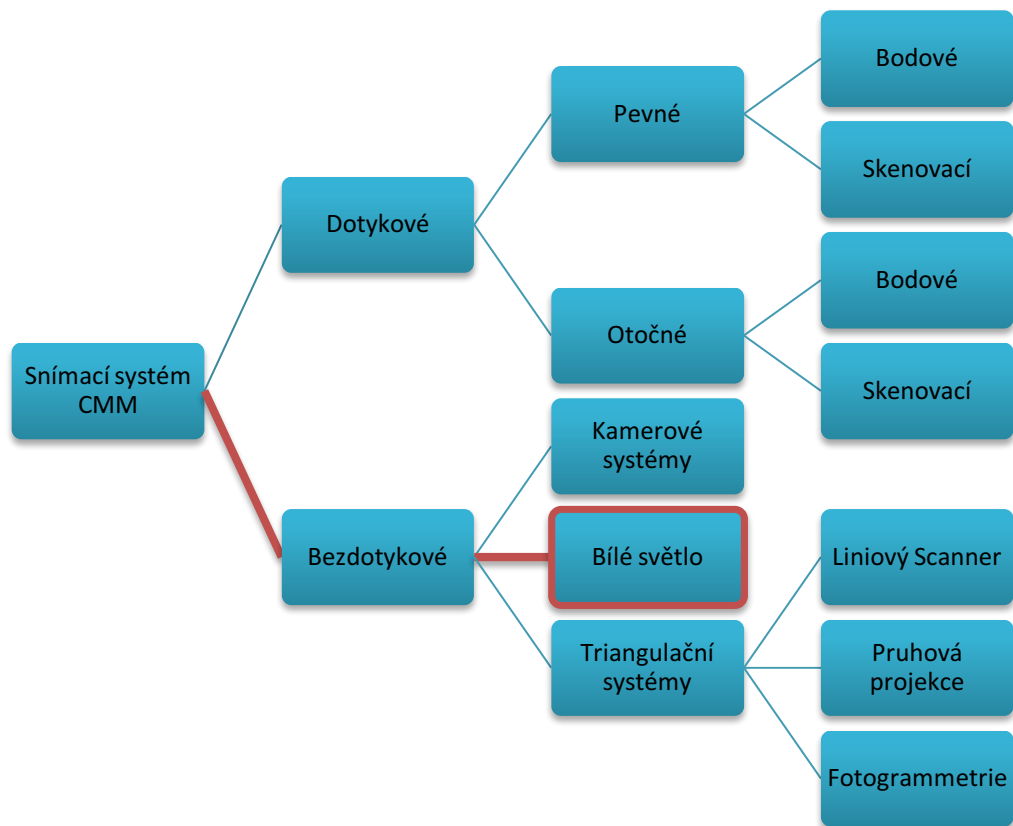
- sloupová konstrukce (Obrázek 7a)
- výložníková konstrukce (Obrázek 7b)
- mostová konstrukce (Obrázek 7c)
- portálová konstrukce (Obrázek 7d). [12]



Obrázek 7: Konstrukce tříosých měřicích strojů [12]

3.2 Snímací systém CMM

Jednou z důležitých částí CMM je snímací systém, který slouží ke snímání bodů z měřené součásti. Jednotlivé druhy senzorů jsou určeny ke snímání bodů jen u určitého typu souřadnicového měření. Při zvolení špatného druhu senzoru se může stát, že zvolený druh měřené součásti nebude moci být změřen nebo bude změřen s velkou nepřesností. V horších případech může dojít k poškození stroje nebo měřené součásti. Základním rozdělení senzorů je na dotykové a bezdotykové, které se dělí na další podskupiny (Obrázek 8). [13; 14]



Obrázek 8: Rozdělení snímacích systémů CMM

3.2.1 Dotykové snímací systémy

Dotykové snímací systémy pracují na principu fyzického kontaktu snímacího čidla s povrchem měřené součásti. Po kontaktu čidla s měřenou součástí přístroj odečte souřadnici kontaktu. Po naměření všech potřebných bodů software přístroje vyhodnotí všechny potřebné geometrické veličiny. Dotykové snímací systémy se dělí na dvě základní skupiny a to na spínací snímací systémy (bodové) a na měřicí snímací systémy (skenovací). [13; 14]

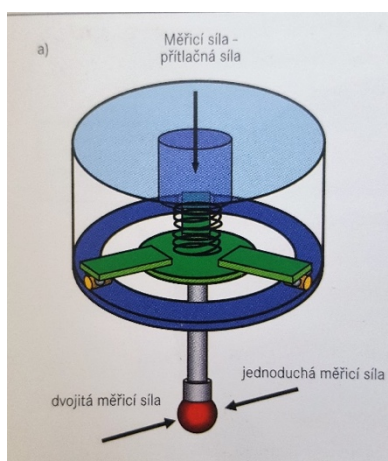
U dotykových snímacích systémů kromě druhu snímacího systému ještě rozlišujeme přístroje podle toho, zda je snímací systém v pevné nebo v otočné hlavě (Obrázek 9).



Obrázek 9: Snímací systém v otočné (vlevo) a v pevné hlavě (vpravo) [19]

Spínací snímací systém

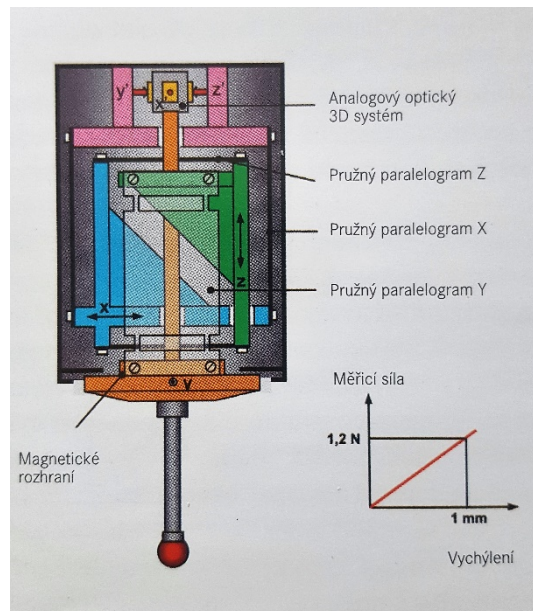
Spínací snímací systémy pracují na principu soustavy tří bodů. Po kontaktu snímací kuličky s měřenou součástí začne proces, kdy se vyšle spouštěcí signál, který spustí čtení odměřování souřadného systému stroje. Informace měřeného bodu jsou získány základním souřadnicovým systémem stroje, který je vztažen na střed snímací kuličky. Kulička je umístěna na dřiku, který je trojbodově uložen ve snímací hlavě. Každý ze tří bodů pracuje jako spínač. Jestliže se při kontaktu sondy s měřeným povrchem snímač vychýlí do libovolného směru, tak se rozpojí jeden ze spínačů a vyšle signál k měření. Výhody tohoto typu snímacího systému jsou nízké pořizovací ceny. Nevýhoda je, že tento snímač může nasnímat pouze jeden bod a po nasnímání musí sonda odjet od povrchu měřené součásti a pak následně znova přijet a nasnímat další bod. Proto je tento způsob měření časově náročný. Schéma spínacího snímacího systému je na Obrázku 10. [13; 14]



Obrázek 10: Schéma spínacího snímacího systému [13]

Skenovací snímací systém

Skenovací snímací systém je vybaven senzorem k měření dráhy ve všech třech souřadnicových osách. Po kontaktu snímací kuličky s měřeným povrchem se vychýlí snímač do libovolného směru. Velikost tohoto vychýlení je přečtena systémem měření dráhy, který tento senzor obsahuje. Díky tomu tento snímací systém umožní měřit větší počet bodů, aniž by musel po každém změření bodu odjet od povrchu součásti. Počet měřených bodů se může pohybovat v řádu tisíců. Velký počet nasnímaných bodů po celé dráze měření umožňuje tomuto senzoru nejen vyhodnocovat základní geometrické prvky, ale také odchylky tvarů. Všechny výpočty a analýzy mraku bodů provádí řídicí software měřicího přístroje. Schéma skenovacího snímacího systému je na Obrázku 11. [13; 14]



Obrázek 11: Schéma skenovacího snímacího systému [13]

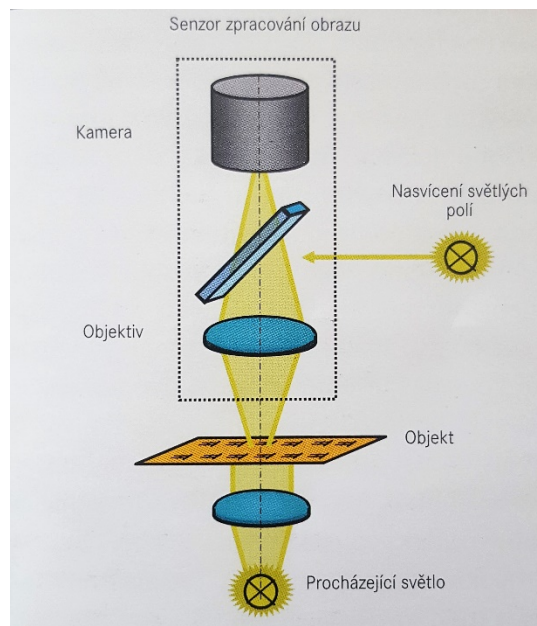
3.2.2 Bezdotykové snímací systémy

Bezdotykové snímací systémy jsou druhou možností snímacího systému CMM. Tento typ snímacího systému nepotřebuje k měření hmotný kontakt mezi snímacím systémem a měřenou součástí. Díky tomu v dnešní době tento typ měření nahrazuje dotykové snímací systémy. Výhodou bezdotykového systému oproti dotykovému je možnost měřit křehké a měkké součásti, které by při měření kontaktním způsobem mohly být deformovány a měření by bylo nepřesné. Další výhodou je velká rychlost snímání, kdy se za krátký čas nasnímá velký počet měřených bodů.

Problém měření bezdotykovým systémem však nastává kvůli vyšší nejistotě měřených bodů oproti dotykovým sensorům. Další obrovskou nevýhodou je možné ovlivnění měření lesklým povrchem měřené součásti a okolním světlem, jelikož všechny bezdotykové senzory pracují na optickém principu. [13; 14]

3.2.2.1 Kamerové systémy

Kamerové senzory jsou všechny senzory, které fungují na podobném principu jako lidské oko a mají alespoň dvourozměrné zobrazení měřené součásti. Kamerové systémy neumožňují snímat třetí rozměr. Základní kamerové systémy jsou senzory na zpracování obrazu (Obrázek 12), kde se měřený objekt pomocí kamery převede z optického signálu na digitální obraz. Digitální obraz slouží vyhodnocovacímu softwaru k výpočtu měřených bodů. Na nejistoty v měření mají největší vliv jednotlivé komponenty přístroje jako je osvětlení, optika, čip senzoru a algoritmus programu sloužící k výpočtu.



Obrázek 12: Schéma senzoru pro zpracování obrazu [13]

Kamerové systémy se využívají především na menší součásti z plastů nebo jiných křehkých materiálů, které se mohou mechanicky poškodit. Tento typ senzoru dokáže rozpoznat pouze hrany měřené součásti. Proto je tato metoda velice rychlá a produktivní u měření dvourozměrných elementů. Nevýhodou tohoto systému oproti dotykovým metodám je neschopnost změřit třetí rozměr jako je například hloubka nebo celý průběh součásti. Dále se do měření vkládají nejistoty způsobené špatným osvětlením nebo

lesklostí měřeného povrchu. Příklad kamerové snímací hlavy je na Obrázku 13. [10; 13; 14]



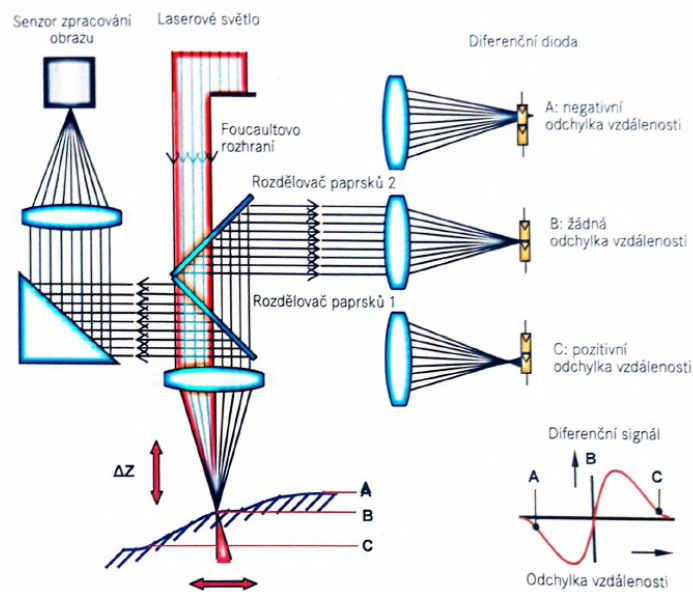
Obrázek 13: Kamerová snímací hlava [19]

3.2.2.2 Triangulační senzory

Princip

Dříve se využívaly základní laserové senzory na měření vzdálenosti pracující na principu světelné interferometrie. Interferometry fungují na principu interference světla, kdy měřicí přístroj rozpoznává rozdíl vln laserového záření odraženého od měřené součásti. Moderní laserové skenery fungují na principu triangulační metody. Metoda je založena na principu paprsku světla, který se odráží pod konstantním úhlem z měřené součásti. Vzdálenost dopadu odraženého paprsku na senzor je úměrná vzdálenosti měřeného předmětu od senzoru. Touto metodou se nevyhodnocuje intenzita dopadajícího světla, ale místo dopadu paprsku do senzoru. Mezi laserovým vysílačem, měřeným bodem a senzorem se vytvoří trojúhelník, díky kterému se dá zjistit vzdálenost pomocí vztahů mezi úhly. Do měření se vkládají velké nejistoty v závislosti na struktuře a úhlu sklonu měřené součásti. Novější senzory fungují na Foucaultově principu. Využívá se zobrazovací úhel senzoru jako trigonometrický úhel. Na měřenou součást se promítne celé Foucaultovo rozhraní, které je v dráze paprsku. Pomocí diferenčních fotodiód se vyhodnotí signál paprsku. Odchyly od nulové polohy senzoru změřené tímto principem se používají ke zpětnému upřesnění pozice dané osy CMM. Výsledek měření se získá pomocí překrytí hodnot naměřených laserem a CMM. Tento senzor se v praxi kombinuje se senzorem na zpracování obrazu, kdy se paprsky laseru

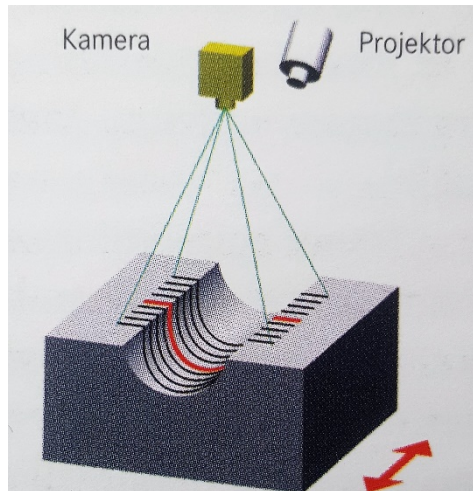
integrují do dráhy paprsků senzoru na zpracování obrazu. Schéma fungování takového senzoru je na Obrázku 14. Nevýhodou triangulačních senzorů je rozsah měření, kdy přijímač je schopen zvládnout jen určitou změnu úhlu. S rostoucím rozsahem měření se snižuje rozlišení. U snímačů se udává více hodnot rozlišení pro různé vzdálenosti měřicího rozsahu. Větší vzdálenosti měřeného objektu od senzoru snižují rozlišení a přesnost měření. Senzory nedokážou správně zaznamenat měření na lesklých materiálech a v ostrých úhlech. [14; 13; 15]



Obrázek 14: Laserový senzor na Foucaultově principu se senzorem zpracování obrazu [13]

Liniový laser scanner

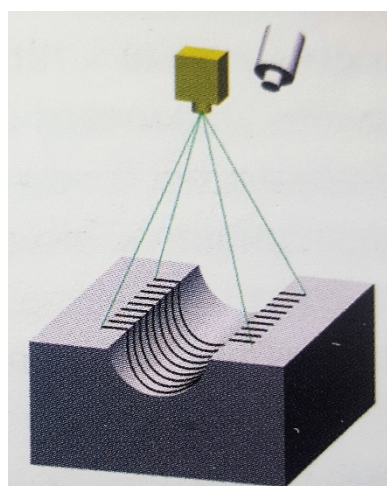
Základní laser scannery fungují na triangulačním principu, kde místo bodového měření se začínají měřit linie 2D a plochy 3D. Laserový paprsek senzoru se rozpohybuje a vytvoří linii paprsků, která přejede přes povrch měřené součásti. Maticová kamera následně zaznamená velký počet bodů vytvořených pomocí triangulace a software vyhodnotí danou linii paprsku. Pokud chceme změřit více než jen linii (světelný řez), musíme měřenou součást pohybovat. Tento pohyb zajišťuje daný souřadnicový stroj s tímto senzorem. Schéma liniového laser scanneru je na Obrázku 15 [13; 14]



Obrázek 15: Schéma liniového laser scanneru [13]

Pruhová projekce

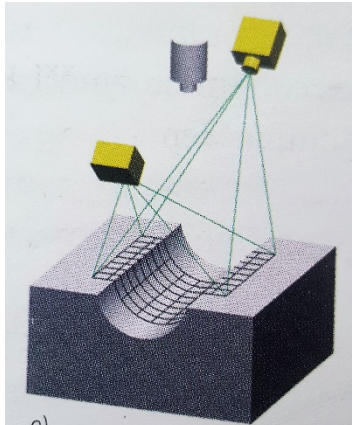
Na povrch měřené součásti se pomocí projektoru promítají vzory pruhů. Tyto pruhy se vyhodnocují stejně jako u liniového laseru díky triangulaci. Pokud leží měřená součást uvnitř rozsahu pruhů, dokáží tyto senzory změřit rychle celou součást bez nutného pohybu součásti v některých osách přístroje. Pro větší přesnost měření a jednoznačné přiřazení bodů k jejich prostorovým souřadnicím se na součást promítají různé vzory pruhů v různém směru. Poté vyhodnocovací software z velkého počtu naskenovaných dat dokáže vykreslit přený 3D obraz měřené součásti. Schéma pruhové projekce je na Obrázku 16. [13; 14]



Obrázek 16: Schéma pruhové projekce [13]

Fotogrammetrie

Tento senzor zachycuje povrch měřené součásti ze dvou různých směrů najednou pomocí obrazového senzoru z každého směru. Za pomoci triangulace se vypočítají prostorové souřadnice každého bodu na měřené součásti díky vztahu mezi úhly. Na součást se promítá dvourozměrná mřížka. Vzniklý vzor na mřížce se zachytí oběma kamerami a následně vyhodnotí pomocí softwaru. Výhodou tohoto senzoru je zvýšená rychlost a přesnost měření. Schéma fotogrammetrie je na Obrázku 17. [13; 14]



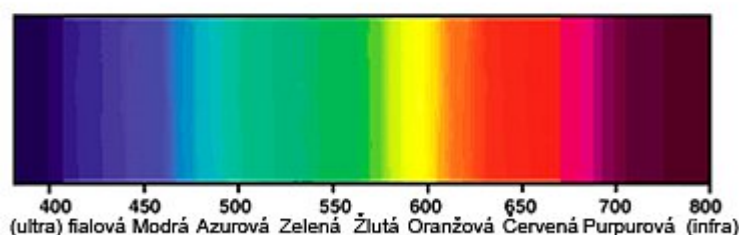
Obrázek 17: Schéma fungování fotogrammetrie [13]

4 Senzor bílého světla

Posledním druhem bezdotykového snímacího systému CMM je bílé světlo. Bílé světlo bude využito v praktické části této práce, proto mu věnujeme tuto kapitolu.

4.1 Bílé světlo

Světlo je viditelná část elektromagnetického záření. Bílé viditelné světlo má vlnovou délku od 390 nm až do 760 nm a leží mezi ultrafialovým zářením a infračerveným zářením. [16]

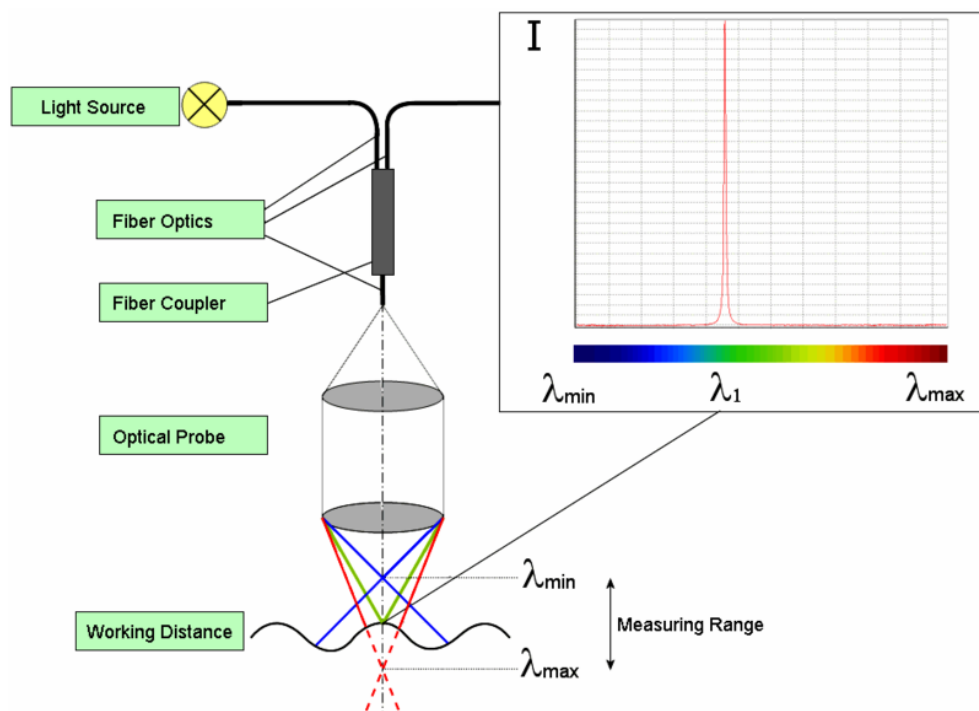


Obrázek 18: Spektrum viditelného světla (vlnová délka je uvedena v nm) [16]

4.2 Princip fungování senzoru bílého světla

Chromatický senzor bílého světla je bodový senzor vzdálenosti. Princip fungování tohoto bodového senzoru vzdálenosti můžeme vidět na schématu na Obrázku 19. Ze zdroje bílého světla se pomocí optických vláken pohybuje světelný signál do optické sondy. V optické sondě se bílé světlo pomocí čoček s využitím chromatické aberace rozloží na ohniskové vzdálenosti celého viditelného spektra. Tyto senzory mají daný rozsah měření, do kterého se promítají rozložené jednotlivé ohniskové vzdálenosti. Po vložení měřené součásti do rozsahu měření se na její povrch promítnou paprsky světla o jednotlivých vlnových délkách. Pouze jedna vlnová délka je nejostřejší a dokonale odrazena. Odražené světlo putuje zpět do spektrometru, který na základě největší intenzity odražené vlnové délky přesně změří vzdálenost měřeného bodu. Senzory dokážou pomocí naskenování povrchu součásti vygenerovat rastrový obraz měřené součásti. Vysoká hustota měřených bodů vykreslí přesně topografii povrchu měřené součásti. Výsledkem měření tohoto senzoru může být zetová vzdálenost bodu nebo celkový tvar povrchu součásti ve formě mračna bodů. Tyto body se dají využít k měření rovinnosti a drsnosti povrchu a k měření základních geometrických prvků.

Díky tomuto principu, kdy se nevyužívá světlo o jedné vlnové délce, ale celé viditelné spektrum, tento senzor dokáže měřit jakýkoliv druh materiálu od tmavých až po lesklé povrchy. Dokáže změřit i tloušťku skla nebo čoček. Senzor je hojně využíván k měření malých součástí nebo snadně deformovaných, které dokáže přesně změřit za krátkou dobu. [17; 18; 19]



Obrázek 19: Schéma fungování senzoru bílého světla [20]

4.3 Typické aplikace

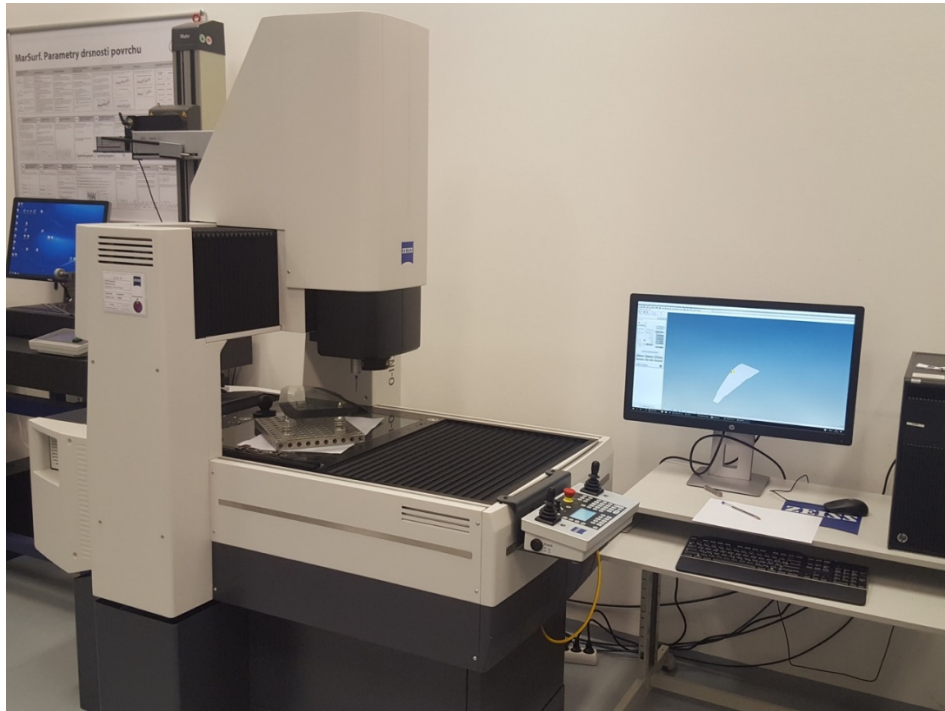
Tento senzor má výhody jako ostatní bezkontaktní optické senzory. Dokáže rychle a s velkou přesností bezkontaktně měřit a je proto vhodný i pro křehké a měkké materiály. Chromatický senzor bílého světla má však nad ostatními senzory výhodu v měření na lesklých a reflexních površích. Nemá problém s měřením zrcadel a skel, kdy dokáže změřit i tloušťku skla. Tento senzor se proto často využívá v automobilovém průmyslu k měření tloušťky skel nebo deformací jejich povrchu při výrobě. Další aplikace tohoto senzoru můžeme najít v továrnách na výrobu skleněných nebo plastových lahví či nádob z bílého nebo barevného materiálu. V takových provozech se opět využívá k měření tloušťky skla a malých defektů. Chromatický senzor bílého světla se také používá při výrobě fotovoltaických panelů,

kdy je nutné dodržovat přesnou rozteč mezi přední a zadní stranou panelu. Obě strany jsou vyrobeny z průhledného skla, proto je výhodné využít tento senzor, který dokáže změřit mezeru mezi nimi, aniž by se musel panel rozebírat. Senzor se dále hojně využívá k měření tenkých průhledných vrstev, které jsou aplikovány ve všech možných odvětvích průmyslu. V poslední řadě se senzor využívá k přesnému naskenování povrchu a vytvořením rastrového obrazu celé součásti s následným porovnáním s CAD modelem. [21; 22; 17; 23]

Nevýhodou tohoto senzoru je jeho dražší pořizovací cena, menší rozsah měření a problém s měřením ostřejších úhlů.

5 Měření s využitím CFS senzoru

Měření bylo provedeno v měrovém středisku Zeiss na ČVUT v Praze na Fakultě strojní na přístroji O-INSPECT 543.



Obrázek 20: Měřicí laboratoř

Součástí pro demonstraci využití chromatického senzoru bílého světla bylo lisované sklo z automobilu. Toto sklo pro svojí malou tloušťku není možné měřit pomocí dotykového senzoru.



Obrázek 21: Součást k měření - automobilové sklo

ZEISS O-INSPECT 543

O-Inspect 543 je multisenzorový souřadnicový stroj vybavený dotykovým senzorem, kamerovým senzorem a senzorem bílého světla. V našem případě byl využit pouze dotykový senzor a senzor bílého světla. Tento typ stroje je svojí velikostí určen k měření méně objemných součástí. Díky vybavení jak dotykovým tak i optickým senzorem je pro svojí velkou flexibilitu výhodný pro použití na všechny typy součástí. Na tomto stroji je tedy možné měřit menší, ale zato i křehké a snadno deformovatelné součásti. Pracovní prostor tohoto stroje je v ose X 500 mm, v ose Y 400 mm a v ose Z 300 mm. [24; 25]

Přístroj O-Inspectu 543 je vybaven následujícími součástmi:

- telecentrický zoom objektiv Discovery
- dotykový skenovací senzor VAST XXT
- senzor bílého světla CFS
- adaptivní systém osvětlení
- kalibrační koule
- zásobník na snímače
- zakládací systém se skleněnou paletou a kalibrační paletou.

ZEISS VAST XXT senzor

VAST XXT je skenovací dotykový senzor, který je flexibilní, rychlý a velmi přesný. Tento senzor bez problémů nasnímá velký počet bodů při jednom průběhu a dokáže získat informace o tvaru a poloze měřené součásti. Výhodou tohoto menšího senzoru oproti větším typům je schopnost snímat body malou snímací silou. To umožňuje senzoru snímat i tenkostěnné součásti. Přesnost měření tohoto dotykového senzoru uvádí Tabulka 1. [24; 25]

Tabulka 1: Parametry pro určení přesnosti měření na VAST XXT senzoru [25]

Parametr	Jednotka	Velikost
Chyba při měření délky	[μm]	$1.6 + L^*/250$
Chyba skenování	[μm]	2.7
Chyba při snímání tvaru jedním snímačem	[μm]	1.9
Chyba při měření tvaru multisnímačem	[μm]	4.8
Chyba při snímání rozměru multisnímačem	[μm]	1.2

*L - délka měřené součásti

Kalibrace dotykového senzoru

Před samotným měřením byla provedena kalibrace zvoleného snímacího systému. Nejdříve se na měřicí stroj upnula kalibrační koule. Kalibrační koule je přesně vyrobená koule se známým průměrem. Poloha této koule se zjišťuje pomocí referenčního snímače. Poté, co referenční snímač zjistí polohu kalibrační koule a její nasnímání zavede do systému korekce, vyměníme referenční snímač za námi navolený snímač a provedeme s ním opětovné měření kalibrační koule. Náš snímací systém byla rubínová kulička o průměru 3 mm s dřikem z uhlíkových vláken. [11]

ZEISS CFS senzor

CFS je bodový bezkontaktní senzor vzdálenosti fungující na principu chromatického senzoru bílého světla. Využívá se k měření součástí, které nemohou být snímány dotykově kvůli jejich materiálu nebo struktuře povrchu. Tento senzor umožňuje změřit zetovou souřadnici bodu nebo skenovat volné tvarové plochy. Senzor se vyrábí ve třech provedení. Na našem měřicím stroji je umístěn CFS – 3 mm. Parametry dostupných senzorů jsou uvedeny v Tabulce 2. V Tabulce 3 jsou možnosti pro nastavení senzoru pro různé druhy materiálů. Na Obrázku 22 už je konkrétní nastavení námi využitého senzoru CFS pro součást z tenkostěnného skla. [24; 25]

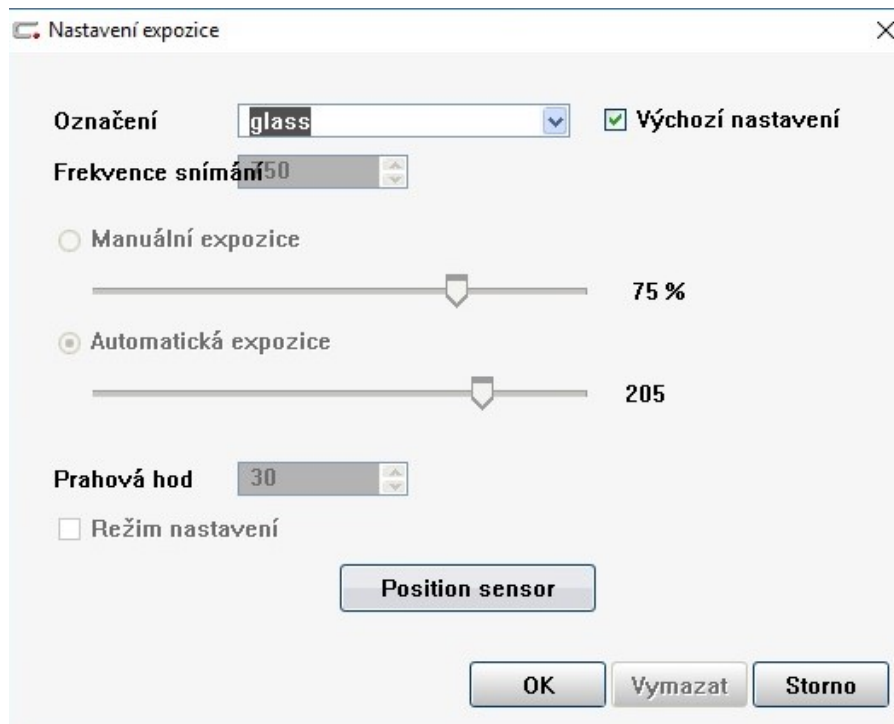
Tabulka 2: Parametry různých senzorů CFS [25]

Parametr senzoru	Jednotka	Velikost parametru pro různé typy CFS		
		CFS – 2 mm	CFS – 3 mm	CFS – 10 mm
Měřicí rozsah	[mm]	2	3	10
Měřicí vzdálenost	[μm]	61	22,5	70
Velikost měřeného bodu	[μm]	12,5	12	24
Vertikální rozlišení	[μm]	0,07	0,1	0,3
Měřitelný sklon povrchu vzhledem ke směru dopadu světla	[°]	90 \pm 15	90 \pm 30	90 \pm 20
Chyba při měření délky	[μm]	1,9 + L*/250	2,2 + L*/250	3,9 + L*/250

*L - délka měřené součásti

Tabulka 3: Možnosti nastavení senzoru CFS pro různé typy materiálů

Materiál	Vzorkovací frekvence [Hz]	Automatická expozice	Prahová hodnota
100 Hz	100	200	30
500 Hz	500	180	30
1000 Hz	1000	185	30
2000 Hz	2000	185	30
Zelený plast	750	200	30
Bílý plast	1500	200	30
Červený plast	500	170	30
Modrý plast	750	180	30
Pochromovaný plast	1750	200	30
Sklo	750	205	30
Matný černý plast	750	200	30
Lesklý černý plast	1000	190	30
Ocelový broušený povrch	1000	180	30
Hliník	1750	170	30



Obrázek 22: Nastavení CFS senzoru v programu Calypso

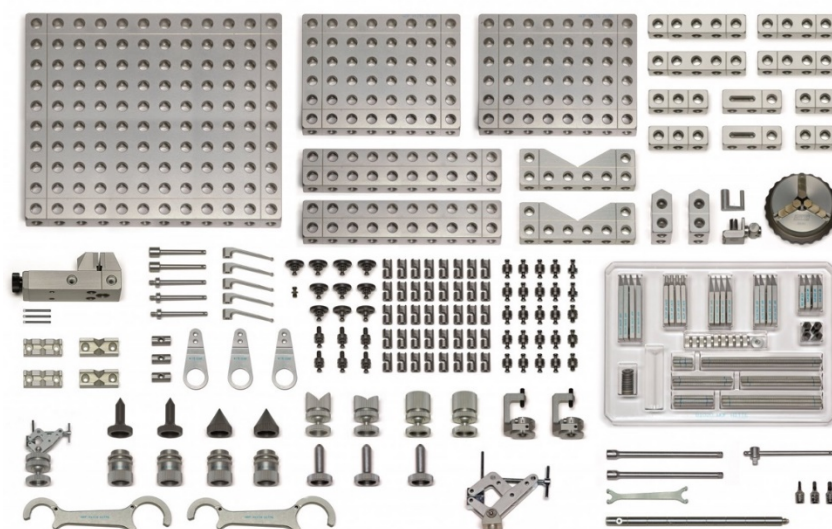
5.1 Postup měření

Upnutí součásti

Nejdříve jsme měřenou součást pevně upnuli na upínací systém **WITTE ALUFIX**. Tento modulární fixační systém ALUFIX je vyroben z vysokopevnostního hliníku (AlMg4,5Mn). Běžně se používá pro upínání měřených součástí, kalibraci měřidel, upnutí měřidel, kompletování nebo svařování montážních prvků.

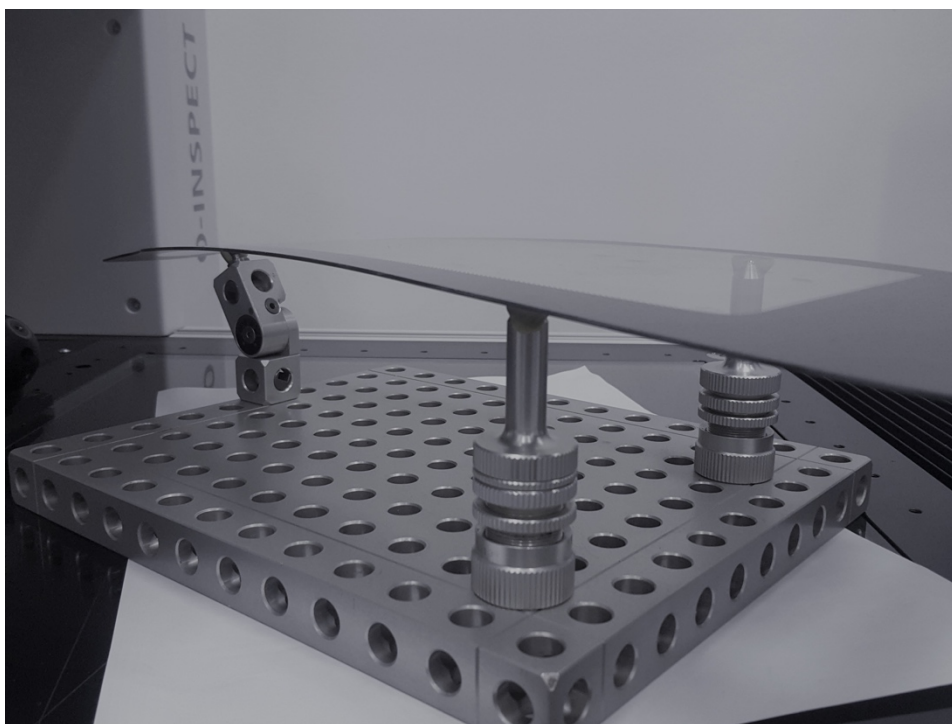
V tomto případě jsme použili sadu ALUFIX CLASSIC (Obrázek 23). Tato sada se vyrábí v šesti velikostech. Každá z velikostí tohoto upínacího systému se dá navzájem kombinovat. Po každé aplikaci je možné sestavu demontovat a následně použít k dalšímu upnutí. Tato sada je hojně používána k modulárnímu polohování a upínání po celém světě. Nejvíce se využívá k aplikaci na souřadnicových měřicích strojích. Díky její spolehlivosti a velké variabilitě se využívá ve všech druzích průmyslu.

Výhodou upínacího systému WITTE ALUFIX je, že tento systém disponuje vysokou přesností všech komponentů, které jsou lehké, stabilní a mají snadnou manipulaci. Upnuté součásti jsou jen velmi málo deformovány. Velkou výhodou je i možnost nahrání knihovny komponentů do CAD. [26]



Obrázek 23: Základní sada ALUFIX [26]

Díky kombinaci různých dílů upínací sady ALUFIX a speciální plastelíny, která nemastí povrch skla, se nám podařilo pevně upnout měřenou součást (Obrázek 24).



Obrázek 24: Upnutí měřené součásti

Po pevném upnutí jsme museli vyřešit první problém a tím byla velikost měřené součásti, která byla rozměrově větší, než je přípustný měřicí prostor přístroje ZEISS O-INSPECT. Po několika možnostech natáčení měřené součásti na měřicí desce přístroje

se nám podařilo umístit měřenou součást tak, aby měřicí přístroj dokázal změřit co největší plochu součásti.

Práce s CAD modelem

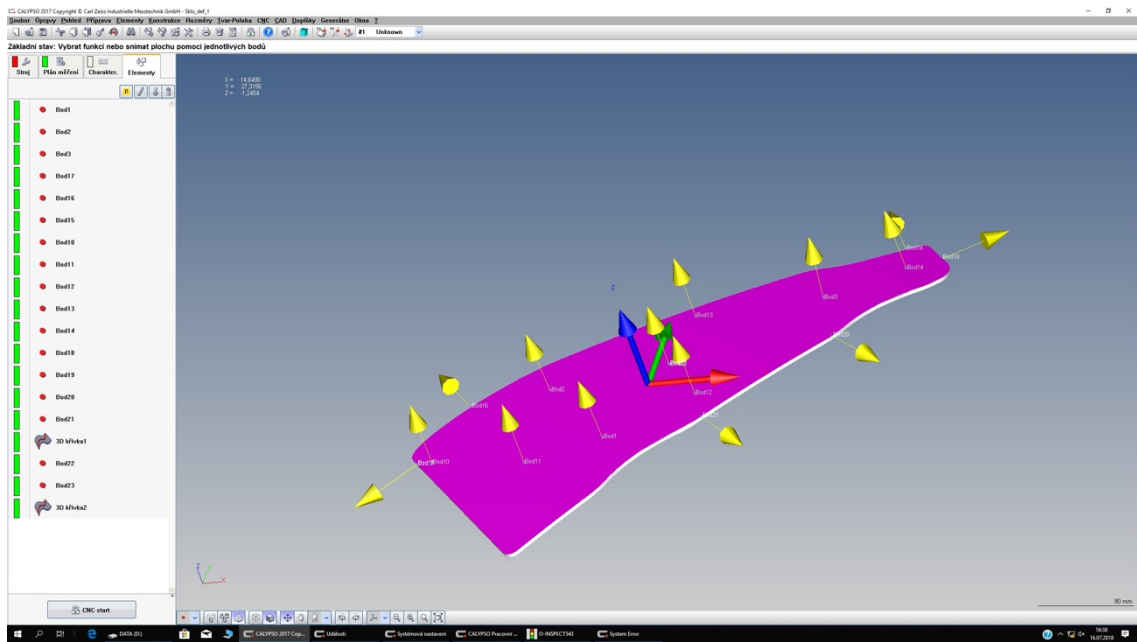
Dalším krokem po umístění měřené součásti na pracovní stůl přístroje bylo nahrání CAD modelu do programu Calypso. Zeiss Calypso je univerzální měřicí software. Díky kombinaci souřadnicového měřicího stroje a jeho senzorů dokáže tento software snadno a rychle změřit standartní geometrické prvky a dané výsledky měření kvalitně a přesně vyhodnocovat. Společnost Zeiss tento program neustále vylepšuje a rozšiřuje o různé druhy modulů, které slouží ke komplexnímu měření a vyhodnocování dat. [27]

CAD model měřené součásti, který se nahrál do programu Calypso, se musel nejdříve upravit. Model byl vyroben na dvě slepené součásti dohromady. Tloušťka CAD modelu byla 3,2 mm, naše součást měla poloviční rozměr a to 1,6 mm. Model se musel nejdříve zrcadlit, jelikož byl CAD model stejných rozměrů ale z opačné strany auta. Měřená součást je sklo z automobilu, k čemuž se váže specifická práce se souřadnicovým systémem. Součásti automobilu bývají souřadnicově přiřazeny k určitému bodu na automobilu, proto se v programu musel modelu přiřadit nový souřadný systém umístěný na střed součásti.

Vyrovnání měřené součásti

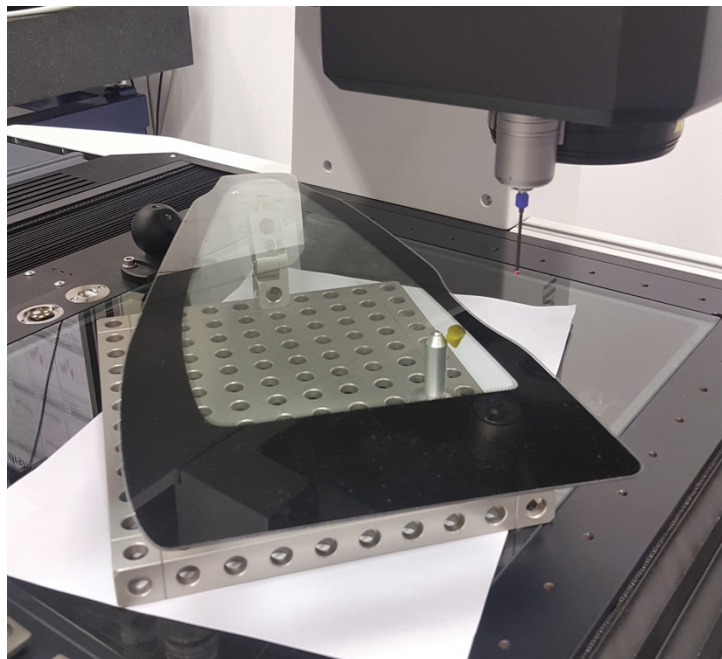
Poté, co se CAD model řádně upravil, byl vybrán vyhovující způsob vyrovnání. U této součásti nebyly definovány jednoznačné elementy pro vyrovnání. Proto se zvolilo 3D připasování jako způsob vyrovnání součásti. 3D připasování funguje na principu navolení bodů v CAD modelu po celé měřené součásti. Tyto body jsou následně optimálně automaticky připasovány na jmenovité hodnoty. [11]

K vyrovnání naší měřené součásti se využilo 17 bodů, které byly zvoleny na CAD modelu v programu po celé součásti tak, aby součást byla fixovaná ve všech možných směrech a bylo dosaženo dané přesnosti (Obrázek 25).



Obrázek 25: Navolení prostorových bodů

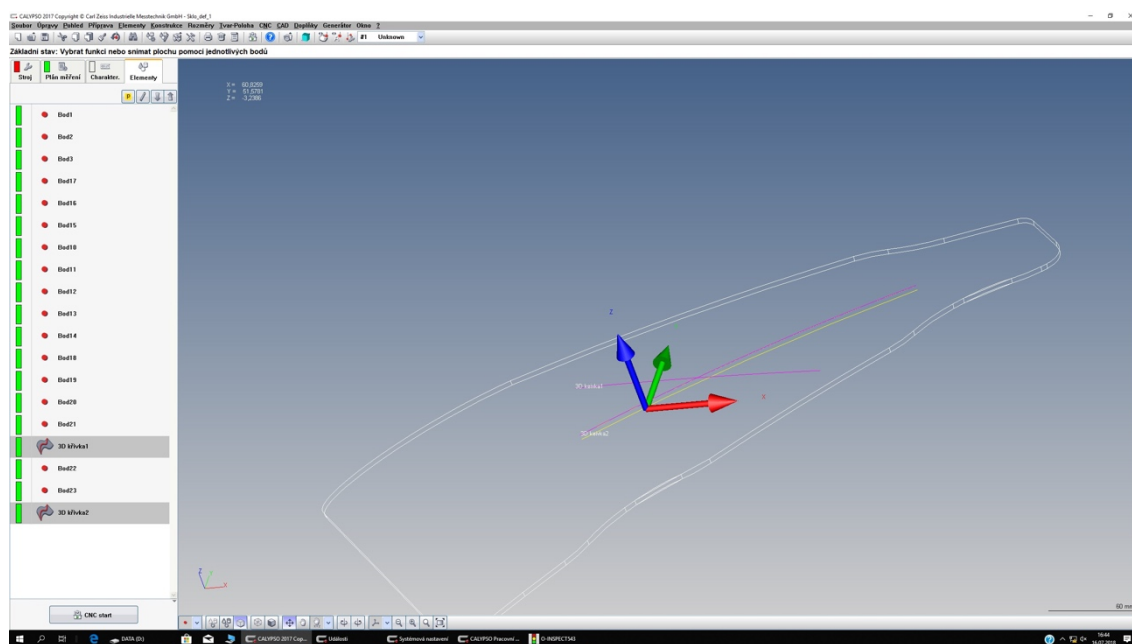
Poté, co se v Calypsu na CAD navolily dané body, přišlo na řadu samotné měření. Tyto body se měřily pomocí dotykového senzoru VAST XXT. Tento snímací systém byl předem připraven a kalibrován. Postup kalibrace byl popsán v přechozí kapitole. Při spuštění CNC programu na měření se nejprve manuálně nasnímal navolené body v přibližném místě, kde byly zadány na CAD modelu. Následně tyto body program přepočítal a spustil automatickou měřicí smyčku se dvěma opakováními, při které přesně nasnímal všechny body a vyrovnal celou součást (Obrázek 26).



Obrázek 26: Snímání bodů pomocí dotykového senzoru

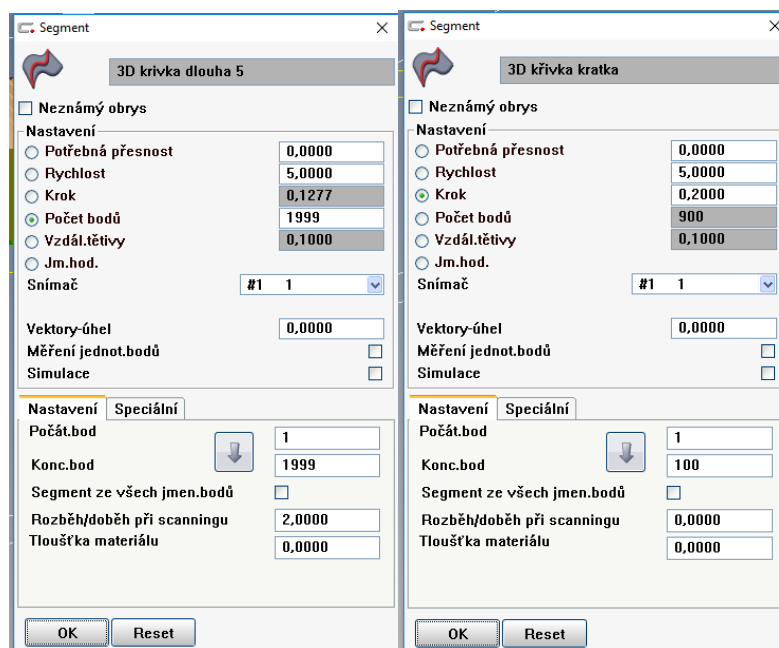
5.2 Závislost přesnosti výsledků na rychlosti měření

V ideálním případě by se měla měřit celá plocha součásti. Kvůli velké velikosti měřené součásti a malému rozsahu přístroje jsme pomocí elementů v programu Calypso na součásti vytvořily dvě 3D křivky (Obrázek 27). Obě křivky byly vytvořeny na povrchu měřené součásti. Krátká křivka byla vytvořena ze 100 bodů, dlouhá z 2000. Poté byla zvolena strategie jejich změření pomocí senzoru CFS. Tyto křivky se nemohou měřit pomocí dotykové senzoru. Měřicí síla dotykového senzoru by měřenou součást deformovala a vnesla do měření velké nejistoty.



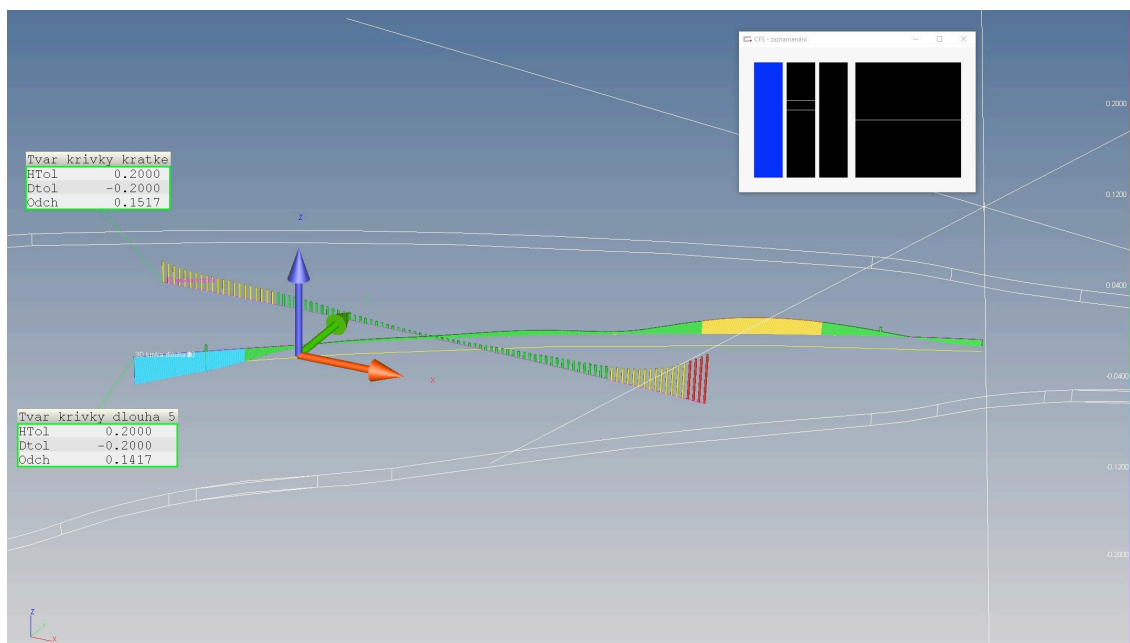
Obrázek 27: Zvolené 3D křivky

Před samotným měřením obou křivek jsme museli nastavit jejich strategii měření. U obou křivek byla nastavena rychlost měření 5 mm/s. U krátké křivky bylo nastaveno 100 bodů ke snímání, body se snímaly po 0,2 mm. Naopak u dlouhé křivky bylo nastaveno 2000 bodů. Podrobné nastavení je rozepsané na Obrázku 28.



Obrázek 28: Strategie měření 3D křivek

Po nasnímání křivek senzorem bílého světla jsme pomocí programu Calypso vyhodnotili dané měření.



Obrázek 29: Výsledek měření 3D křivek

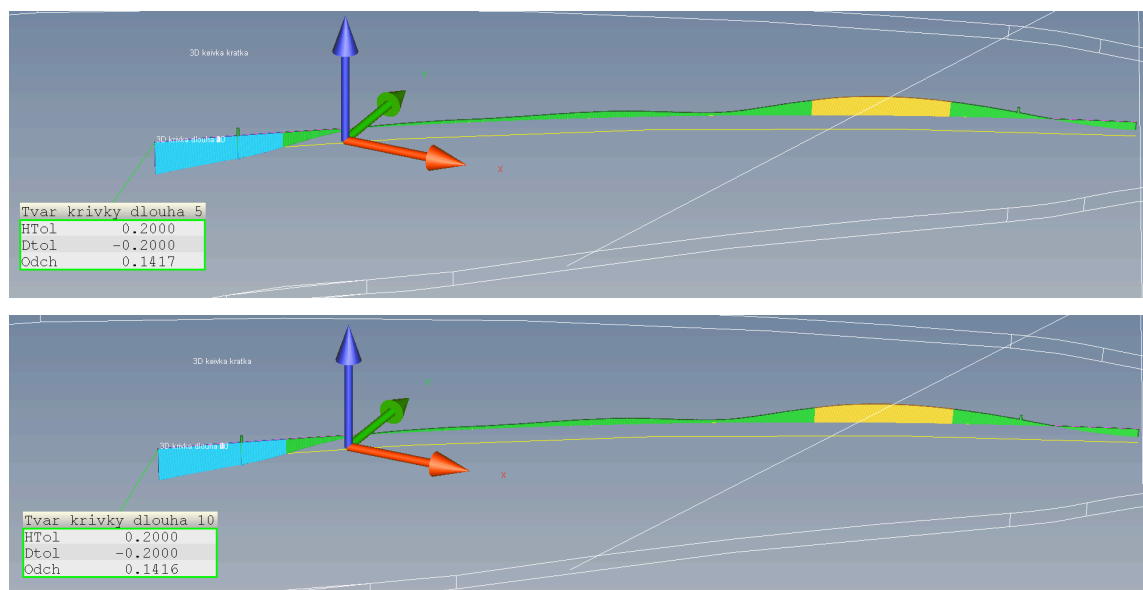
Každá křivka měla předem danou svojí horní a dolní toleranci, která byla stanovena na $\pm 0,2$ mm od nominální hodnoty. Na Obrázku 29 můžeme pozorovat vyhodnocení obou křivek. Obě křivky se vešly do tolerance. Z výsledků je vidět, že sklo je v obou směrech prohnuté a mírně deformované. Z obrázku lze také vyčíst, že v průřezu obou křivek byla naměřena podobná hodnota deformace.

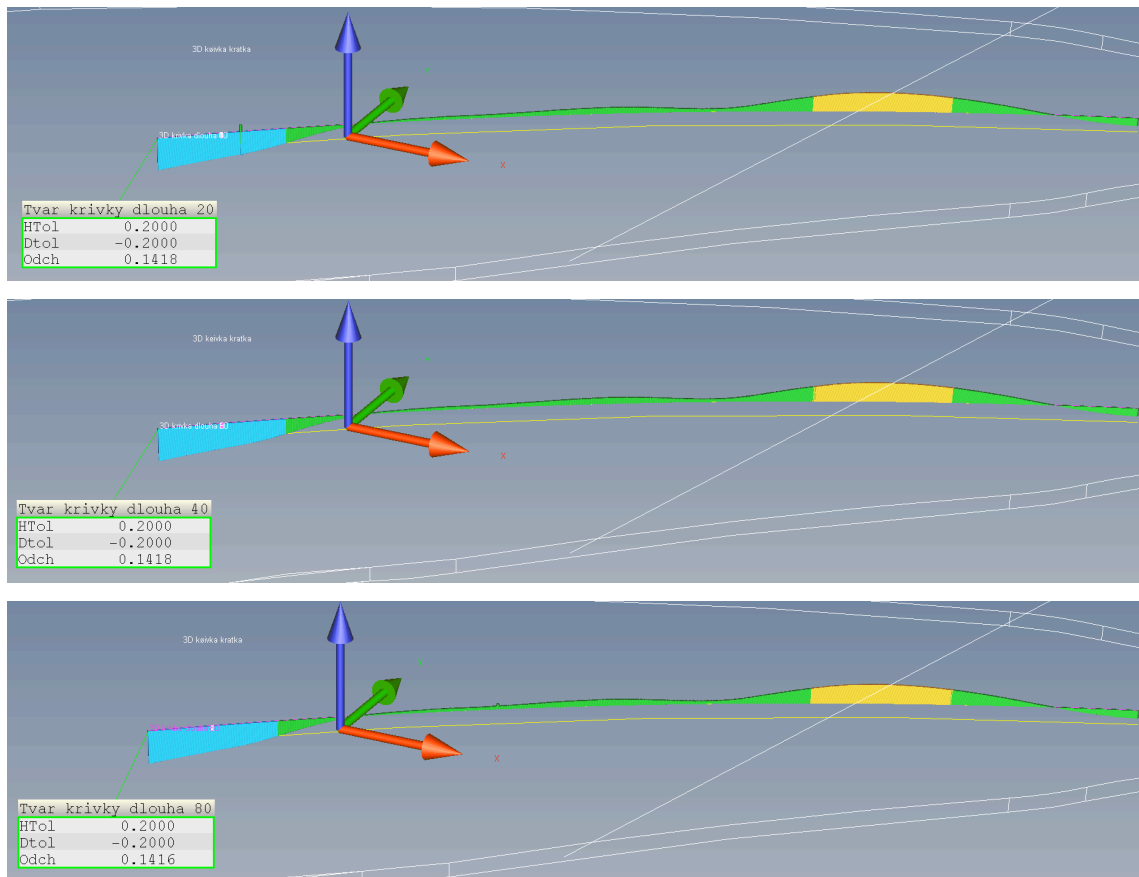
V další části měření jsme si dali za úkol vyhodnotit schopnosti senzoru bílého světla CFS. K vyhodnocení jsme využili dlouhou křivku, u které jsme nechali nastaveno 2000 měřených bodů. Experiment spočíval v tom, že jsme nastavili různé rychlosti měření a zjišťovali závislost přesnosti měření na rychlosti. Dále jsme chtěli zjistit maximální měřicí rychlost přístroje.

Tabulka 4: Parametry měření pro zhodnocení závislosti přesnosti na rychlosti měření.

Název křivky	Počet měřených bodů	Rychlost měření [mm/s]	Tolerance [mm]
3D křivka dlouhá 5	1999	5	±0,2
3D křivka dlouhá 10	1999	10	±0,2
3D křivka dlouhá 20	1999	20	±0,2
3D křivka dlouhá 40	1999	40	±0,2
3D křivka dlouhá 80	1999	80	±0,2

Podmínky toho experimentu jsou uvedeny v Tabulce 4 a na Obrázku 30 vidíme naměřené hodnoty v závislosti na rychlosti. Ukázalo se, že rychlost má zanedbatelný vliv na přesnost měření. Naopak byla zjištěna podle průběhu měření maximální rychlost, kterou senzor dokáže zaznamenávat body. Pro zjištění rychlosti jsme do programu Calypso nastavili stopky ke každému kroku měření.





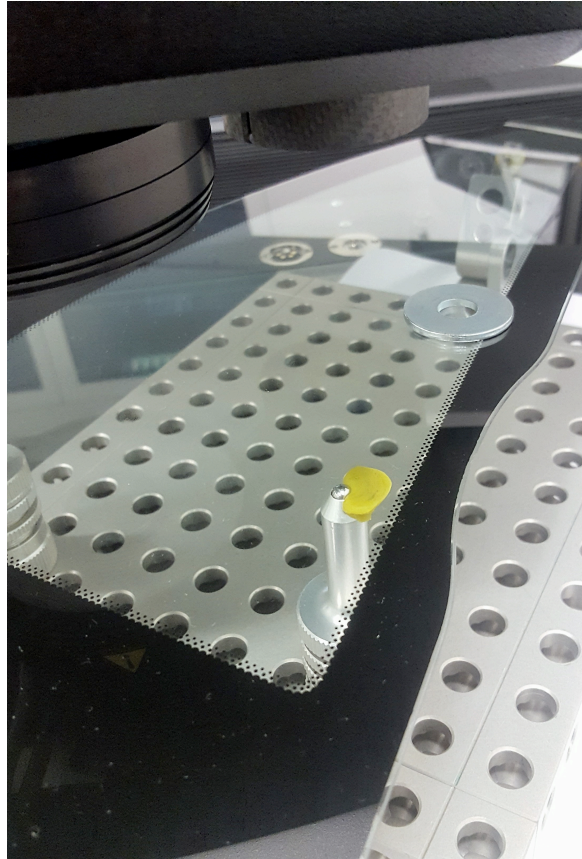
Obrázek 30: Naměřené hodnoty v závislosti na rychlosti

I přes nastavení rychlosti snímání na 40 a 80 mm/s se senzor touto rychlostí nepohyboval. Z protokolu z měření, kde jsme počítali čas měření, je jasně vidět, že se senzor nepohyboval zadanou rychlostí. Z výpočtu dráha lomeno čas, kdy dráha se rovnala 290 mm a čas měření při nastavení rychlosti senzoru na 40 mm/s byl 11 s, nám vyšlo, že se senzor pohyboval rychlostí 26,36 mm/s. Při nastavení rychlosti na 80 mm/s byla doba měření 10 s. Po výpočtu vychází, že se senzor pohyboval rychlostí 29 mm/s. Z průběhu měření ale nelze stoprocentně říct, že se jedná o maximální rychlost měření, kterou tento senzor dokáže měřit. Při měření bylo vidět, že se senzor v první půlce dráhy pohyboval větší rychlostí a poté zpomalil a doměřil danou křivku. Příčinou mohlo být nestíhání senzoru nasnímat daný počet bodů, proto následně automaticky zpomalil a doměřil zbytek křivky menší rychlostí.

5.3 Vliv zatížení na deformaci součásti

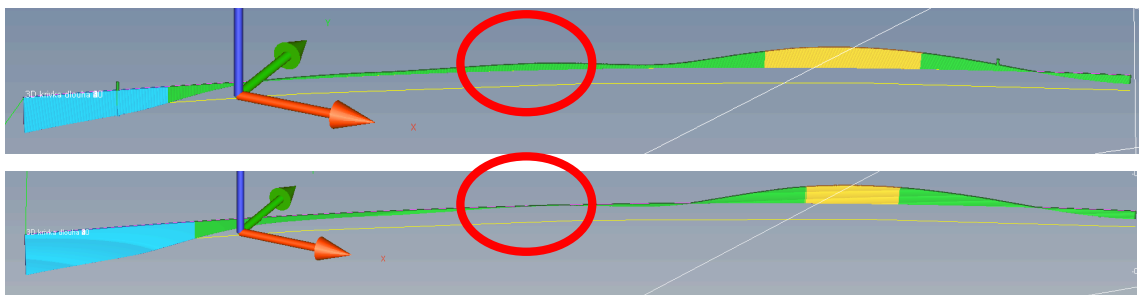
V další části našeho měření bylo cílem zjistit vliv zatížení na deformaci měřené součásti. Na měřenou součást jsme položili malé závaží o hmotnosti 20 g. Tato

hmotnost odpovídá 200 mN, což je i obvyklá měřicí síla dotykového senzoru. Tím jsme chtěli demonstrovat, proč je v těchto případech výhodné využít senzor bílého světla na úkor dotykového senzoru. Na obrázku 31 je vidět dané závaží na měřené součásti.



Obrázek 31: Umístění závaží na měřenou součást





V prvním kroku byla změřena dlouhá 3D křivka a to s umístěným závaží v blízkosti jejího středu, v druhém kroku byla změřena křivka bez závaží.



Obrázek 32: Porovnání výsledků měření dlouhé 3D křivky součásti bez závaží (horní obrázek) a se závažím (spodní obrázek)

Při srovnání deformací u obou výsledků měření na Obrázku 32 je patrné, že položené závaží dokázalo sklo deformovat. Na horním snímku vidíme průběh měření bez zatížení a na spodním se zatížením. V prostřední části se dá pozorovat změna deformace díky danému zatížení.

Z křivky je obtížné rozeznat hodnotu deformace, kterou dané závaží vytváří, proto byl opakovaně změřen jeden bod umístěný na ploše součásti v blízkosti závaží. Průběh měření spočíval v tom, že daný bod se opakovaně měřil bez závaží a se závažím. Měření jsme opakovali celkem třikrát. Z protokolu z měření (Obrázek 33), kde jsme počítali vzdálenost mezi body bez a se závažím, vyšla střední hodnota průhybu 0,0133 mm.

	Měř.hod.	Jm.hod.	Horní tol.	Dolní tol.	Odchylka
	Vzdálenost1_Z 0.0140	0.0000	0.0500	-0.0500	-- 0.0140
	Vzdálenost2_Z 0.0128	0.0000	0.0500	-0.0500	-- 0.0128
	Vzdálenost3_Z 0.0131	0.0000	0.0500	-0.0500	-- 0.0131
	Střed.hodnota pruhybu 0.0133	0.0000	0.0500	-0.0500	-- 0.0133

Obrázek 33: Protokol měření pro zjištění deformací

5.4 Výsledky měření

Cílem celého měření bylo zjištění možnosti využití senzoru bílého světla k měření tenkostěnného lisovaného skla z automobilu. Z prvního provedeného měření bylo zjištěno pomocí změřených souřadnic dvou 3D křivek vytvořených na CAD modelu v programu Calypso na povrchu skla, že sklo má nerovný povrch a je mírně prohnuté. To mohlo být způsobeno nepřesnou výrobou nebo špatným upevněním součásti, kdy bylo sklo v leže na třech bodech podepřeno. Toto sklo je v provozu umístěno svisle z boku automobilu. Následně bylo provedeno opakované měření dlouhé 3D křivky při postupném nastavování rychlosti měření na 5, 10, 20, 40 a 80 mm/s pro zjištění závislosti přesnosti měření na jeho rychlosti. Z výsledků byla zjištěna dobrá opakovatelnost měření senzoru bez způsobení deformace měřené součásti a zanedbatelná závislost přesnosti na rychlosti měření. Rozdíly hodnot měření byly

v desetinách mikrometru. Zároveň byla zjištěna maximální rychlost, při které senzor dokázal danou křivku měřit a to 29 mm/s. V posledním prováděném měření byly zjišťovány deformační účinky dotykového senzoru a to pomocí závaží o hmotnosti 20 g, které odpovídá zatížení 200 mN. Pro srovnání, takovou silou měří většina dotykových senzorů. Výsledky měření prokázaly deformační účinky. Měření dlouhé 3D křivky se zatížením a následné porovnáním jejího průběhu s křivkou bez zatížení byla z výsledků patrná změna prohnutí zatíženého skla. Pro zjištění hodnoty deformace byla opakovaně změřena zetová souřadnice bodu se závažím a bez závaží. Střední hodnota průhybu byla 0,013 mm. Tímto měřením byla potvrzena nevhodnost použití dotykových senzorů na tento typ měřených součástí, naopak byla zjištěna dobrá využitelnost senzoru bílého světla k rozměrové kontrole tenkostěnných skel. Protokoly ze všech měření jsou v přílohách.

6 Závěr

Tato práce se zabývá využitím chromatického senzoru bílého světla jako snímacího systému souřadnicových měřicích strojů. Měřicí stroje se v praxi uplatňují zejména při kontrole kvality ve strojírenství. Pro každý výrobní podnik je mimořádně důležité, aby jejich produkty naplňovaly všechny požadavky a očekávání zákazníků. Ve strojírenství se dbá především na přesný tvar a rozměry výrobku. Kontrola kvality ve smyslu ověření vlastností produktu je však pouze částí systému managementu kvality. Systém managementu kvality propojuje různé činnosti ve společnosti a vydává opatření proto, aby byly naplněny požadavky na kvalitu a její úroveň byla udržována nebo zvyšována. Nejedná se tedy pouze o překontrolování již hotových produktů. Systém managementu kvality sleduje celý výrobní proces, snaží se jej vystavit efektivně a minimalizuje chyby ještě před tím, než mohou nastat. Zároveň vytváří neustálou zpětnou vazbu proto, aby se celý proces mohl zlepšovat a všechny jeho kroky dosahovaly vyšší kvality. Kontrola kvality výrobků ve smyslu provádění různých měření je tedy nedílnou a důležitou součástí systému managementu kvality, bez které bychom nemohli ověřovat jeho dopady a výsledky, ale není součástí jedinou.

Požadavky na výrobky se neustále zvyšují, a proto je třeba vyvíjet a zlepšovat přesnost měřicích strojů a také zvyšovat jejich využitelnost pro nejrůznější materiály. Zároveň pro každou součást se může hodit jiný měřicí stroj na základě vlastností materiálů, ze kterého je součást vyrobena. Souřadnicové měřicí stroje slouží k určení různých geometrických prvků. Jednou z důležitých částí je snímací systém, pomocí kterého se snímají body měřené součásti. Tyto body jsou pak vyhodnoceny softwary, které vykreslují součásti a podávají údaje o požadovaných parametrech. Základní dělení snímacích systémů je na systémy dotykové a bezdotykové. U dotykových systémů dochází přímo ke kontaktu snímacího systému s danou součástí a jsou tedy schopné naměřit všechny parametry tvaru a rozměrů. Do popředí se však dostávají bezdotykové měřicí senzory, které snímají body pomocí různých optických metod a mohou tak měřit i křehké a měkké součásti. Ty by při měření kontaktním způsobem mohly být deformovány a měření by bylo nepřesné. Zároveň díky nenutnosti kontaktu s každým bodem je snímání výrazně rychlejší.

Jedním z typů bezdotykových snímacích systémů je senzor bílého světla. Oproti jiným optickým metodám využívá světlo různých vlnových délek ve viditelné oblasti

světelného spektra. Díky tomu dokáže tento senzor snímat přesně body součástí z různých materiálů, ať už se jedná o tmavé či světlé povrchy nebo matné či lesklé. Právě reflexní vlastnosti povrchu materiálu komplikují měření u jiných optických metod. Kromě obecných výhod bezdotykových snímacích systémů jako jsou tenké či křehké materiály a vysoká rychlost měření, je senzor bílého světla schopen měřit i tloušťku skla nebo čoček.

V praktické části této práce demonstrujeme využití měřicího stroje se snímacím systémem vybaveným senzorem bílého světla pro lisované tenkostěnné sklo z automobilu. Sklo těchto vlastností by mohlo být deformováno při měření dotykovým senzorem. Možnost deformace jsme potvrdili při opakovaném měření naší součásti s a bez závaží, které simulovalo sílu, jakou dotykový senzor zatěžuje měřenou součást. U naší součásti při měření se závažím došlo k průhybu 0,013 mm. Dále jsme zkoumali závislost přesnosti měření na rychlosti měření. Z výsledků měření plyne, že přesnost měření je v podstatě nezávislá na rychlosti měření, při čemž nejvyšší dosažená rychlost byla v našem případě 29 mm/s. Měření takovým měřicím strojem má však i své nevýhody. Pracovní rozsah senzoru je poměrně malý, proto se do něj celá měřená součást nevešla. To znamená, že bychom nebyli schopni najednou naměřit všechny požadované body součásti. Tento stroj je tedy špatně využitelný pro součásti větších rozměrů.

Závěrem lze říci, že měřicí stroj se senzorem bílého světla otevírá možnosti lepšího měření u dosud obtížně měřitelných materiálů jako jsou součásti s lesklým povrchem nebo křehké a tenké součásti. Jako každý stroj má však i tento své nevýhody. Senzor není schopen dobře měřit větší sklon součásti vzhledem k rovině. Další nevýhodou je měřicí rozsah senzoru a jeho pořizovací cena.

Použitá literatura

1. **Veber, Jaromír.** *Řízení jakosti a ochrana spotřebitele*. 2. aktualizované vydání. Praha: Vydavatelství Grada Publishing, 2007. ISBN 978-80-247-1782-1.
2. **Nenadál, Jaroslav, a kol.** *Moderní management jakosti. Principy, postupy a metody*. 1. vydání. Praha: Nakladatelství Management Press, s.r.o, 2008. ISBN 978-80-7261-186-7.
3. **ASME.** Certification and Accreditation. [Online] [Citace: 12. 6. 2018.] <https://www.asme.org/shop/certification-accreditation>.
4. **ČSN EN ISO 9001:2016.** *Systém managementu kvality. Požadavky*. 2016.
5. **Spejchalová, Dana.** *Management kvality*. 4. vydání. Praha: Vysoká škola ekonomie a managementu, 2012. ISBN 978-80-86730-68-4.
6. **Pyzdek, Thomas.** *Quality Engineering Handbook*. New York: Marcel Dekker, Inc., 2003. ISBN 0-8247-4614-7.
7. **Webber, Larry a Wallace, Michael.** *Quality Control for Dummies*. Indianapolis: Wiley Publishing, Inc., 2007. ISBN-13: 978-0-470-06909-7.
8. **Kemp, Sid.** *Quality Management Demystified*. New York: The McGraw-Hill Companies, 2006. ISBN 0-07-148305-5.
9. **Continous Improvement Toolkit.** PDCA Cycle. [Online] 2018. [Citace: 15. 6. 2018.] <https://citoolkit.com/articles/pdca-cycle/>.
10. **Technická univerzita v Liberci - katedra výrobních systémů a automatizace.** Souřadnicové měřicí stroje. [Online] [Citace: 20. 6. 2018.] www.ksa.tul.cz/getFile/id:2522.
11. **Beránek, Libor.** *Průmyslová metrologie - studijní podklady*. Praha: ČVUT, Fakulta strojní, Ústav technologie obrábění, projektování a metrologie, 2017/2018.
12. **Tichá, Šárka.** *Strojírenská Metrologie - část I*. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 2004.
13. **Ralf, Christopher a Neumannm, Hans Joachim.** *Multisenzorová souřadnicová měřicí technika - Měření rozměrů, tvaru, polohy a drsnosti - opticky, dotykově a rentgenovou tomografií*. Uherské Hradiště: PRIMA Bivalčik, s.r.o, 2008.
14. **Hocken, Robert J. a Pereira, Paul H.** *Coordinate Measuring Machines and Systems Second Edition*. Boca Raton: CRC Press, Taylor & Francis Group, 2012. ISBN 978-1-4200-1753-3.

15. **Vojáček, Antonín.** Princip laserových snímačů vzdálenosti s triangulačním principem měření. *automatizace.hw.cz*. [Online] 13. 7 2015. [Citace: 3. 7. 2018.] <https://automatizace.hw.cz/mereni-a-regulace/princip-funkce-laserovych-snimacu-vzdaleni-s-triangulacnim-principem-mereni.html>.
16. **Fototechnika.** Světlo a barva ve fotografii. *www.fotoradce.cz*. [Online] 27. 1. 2010. [Citace: 28. 5. 2018.] www.fotoradce.cz/svetlo-a-barva-ve-fotografii-blog.
17. **Vojáček, Antonín.** Velmi přesné optické měření s konfokálními snímači. *automatizace.hw.cz*. [Online] [Citace: 25. 6. 2018.] automatizace.hw.cz/komponenty/velmi-presne-opticke-mereni-s-konfokalnimi-snimaci.html.
18. **Axiom Optics.** Chromatic Confocal Sensor - Point Sensors. *www.axiomoptics.com*. [Online] [Citace: 20. 6. 2018.] www.axiomoptics.com/wsm/chromatic-confocal-point-sensors/.
19. **Zeiss.** Zeiss Metrology Sensors. Contact and Optical Sensors. *www.zeiss.cz*. [Online] [Citace: 15. 5. 2018.] <https://www.zeiss.cz/metrologie/produkty/brochures.html?catalog=dotscan>.
20. **Precitec.** Measurement principle. *www.precitec.de*. [Online] [Citace: 20. 5 2018.] <https://www.precitec.de/en/products/optical-measuring-technology/how-it-works/>.
21. **Automa.** Konfokální snímače vzdálenosti měří mezery ve vícevrstvých fotovoltaických panelech. *www.automa.cz*. [Online] [Citace: 10. 7. 2018.] http://automa.cz/Aton/FileRepository/pdf_articles/10261.pdf.
22. **AZoSensors.** Using confocal chromatic sensors for amazing results. *www.azosensors.com*. [Online] [Citace: 19. 7. 2018.] <https://www.azosensors.com/article.aspx?ArticleID=917>.
23. **PRIMA BILAVČÍK.** Vysoce přesný chromatický lineární senzor pro měření rozličných povrchů. *www.merici-pristroje.cz*. [Online] <http://www.merici-pristroje.cz/novinky/detail/chromaticky-linearni-senzor-pro-rychle-mereni.htm>.
24. **Zeiss.** Multisensor Measuring Machines. *www.zeiss.cz*. [Online] [Citace: 17. 7. 2018.] <https://www.zeiss.cz/metrologie/produkty/brochures.html?catalog=O-INSPECT>.
25. **Zeiss.** Zeiss O-Inspect. *www.zeiss.cz*. [Online] <https://www.zeiss.cz/metrologie/produkty/brochures.html?catalog=O-INSPECT>.
26. **Esperanto.** Modulární upínací systémy alufix. *www.esperantomb.cz*. [Online] [Citace: 10. 7. 2018.] www.esperantomb.cz/modularni-upinaci-systemy-alufix.html.


27. **Zeiss.** Reference pro standartní geometrii Zeiss Calypso. *www.zeiss.cz*. [Online] [Citace: 15. 7. 2018.] <https://www.zeiss.cz/metrologie/produkty/software/calypso-overview.html>.
28. **Pro Export Plus.** ASIMETO Germany. *www.proexport.cz*. [Online] [Citace: 26. 5. 2018.] http://www.proexport.cz/katalog/merici-nastroje/merici-a-opticke-pristroje/641-02-1_profil-projektor/.
29. **Metrology.** Laboratorní délkoměry. *www.metrology.cz*. [Online] [Citace: 26. 5. 2018.] <http://www.metrology.cz/8-laboratorni-delkomer-labconcept/labconcept-premium>.
30. **MSI-Vikings Gage.** Zeiss Prismo navigator. *www.msi-viking.com*. [Online] [Citace: 26. 5. 2018.] <https://www.msi-viking.com/ZEISS-PRISMO-navigator-Bridge-Type-CMM>.

Seznam příloh

Příloha 1: Protokol z měření závislosti přesnosti na rychlosti měření.....45


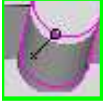






Příloha 2: Protokol z měření závislosti deformace na zatížení.....47

Příloha 1: Protokol z měření závislosti přesnosti na rychlosti měření





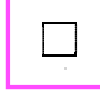

ZEISS Calypso				
Plán měření Sklo_def_1	Datum 18 Juli 2018			
Číslo výkresu * drawingno *	Čas 11:47:02	Zakázka		
Operátor Master	Stroj C32Bit	Č.dílu inkrementálně Sklo CFS glass		

	Měř.hod.	Jm.hod.	Horní tol.	Dolní tol.	Odchylka
 Tvar krivky kratke 0.1517 Typ tolerance: Rozpětí	0.1517	0.0000	0.2000	-0.2000	-- 0.1517
 Start 5 42266.0000	42266.0000	0.0000			42266.0000
 Tvar krivky dlouha 5 0.1417 Typ tolerance: Standard	0.1417	0.0000	0.2000	-0.2000	-- 0.1417
 Start 10 42326.0000	42326.0000	0.0000			42326.0000
 Tvar krivky dlouha 10 0.1416 Typ tolerance: Standard	0.1416	0.0000	0.2000	-0.2000	-- 0.1416
 Start 20 42361.0000	42361.0000	0.0000			42361.0000
 Tvar krivky dlouha 20 0.1418 Typ tolerance: Standard	0.1418	0.0000	0.2000	-0.2000	-- 0.1418
 Start 40 42385.0000	42385.0000	0.0000			42385.0000
 Tvar krivky dlouha 40 0.1418 Typ tolerance: Standard	0.1418	0.0000	0.2000	-0.2000	-- 0.1418
 Start 80 42404.0000	42404.0000	0.0000			42404.0000

Příloha 1: Protokol z měření závislosti přesnosti na rychlosti měření (pokračování)

Náz.souč. Sklo_def_1		Operátor Master		Čas 11:47:02	Datum 18 Juli 2018	
	Měř.hod.	Jm.hod.	Horní tol.	Dolní tol.	Odchylka	
	Tvar krivky dlouha 80 0.1416 Typ tolerance: Standard	0.0000	0.2000	-0.2000	--	0.1416
	Konec 80 42422.0000	0.0000				42422.0000
	Doba mereni 5 60.0000	0.0000				60.0000
	Doba mereni 10 35.0000	0.0000				35.0000
	Doba mereni 20 24.0000	0.0000				24.0000
	Doba mereni 40 19.0000	0.0000				19.0000
	Doba mereni 80 18.0000	0.0000				18.0000

Příloha 2: Protokol z měření závislosti deformace na zatížení

ZEISS Calypso					
Plán měření Sklo_def_1	Datum 18 Juli 2018				
Číslo výkresu * drawingno *	Čas 12:34:03	Zakázka			
Operátor Master	Stroj C32Bit	Č.dílu inkrementálně Sklo CFS glass			
Měř.hod.	Jm.hod.	Horní tol.	Dolní tol.	Odchylka	
 Vzdálenost1_Z 0.0140	0.0000	0.0500	-0.0500	--	0.0140
 Vzdálenost2_Z 0.0128	0.0000	0.0500	-0.0500	--	0.0128
 Vzdálenost3_Z 0.0131	0.0000	0.0500	-0.0500	--	0.0131
 Střed.hod.1 Žádný výsledek : Střed.hod.1 > Jm.hodn.pro vyhodnocení nebyla nalezena Možné příčin y: Element vymazán nebo přejmenován Řešení: Znovu spustit průběh se zrušením výsledků					
 Střed.hodnota pruhybu 0.0133	0.0000	0.0500	-0.0500	--	0.0133