

Bezkontaktní snímání profilu výrobků

The Contactless Scanning of Products Profile

Bc. Kamil Kučík

Diplomová práce
2017



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky
akademický rok: 2016/2017

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Kamil Kučik**
Osobní číslo: **A15228**
Studijní program: **N3902 Inženýrská informatika**
Studijní obor: **Bezpečnostní technologie, systémy a management**
Forma studia: **kombinovaná**

Téma práce: **Bezkontaktní snímání profilu výrobků**
Téma anglicky: **The Contactless Scanning of Product Profiles**

Zásady pro vypracování:

1. Analyzujte technické způsoby měření výrobků s důrazem na fyzikální a bezpečnostní význam uvedeného procesu.
2. Pojedejte o oblastech 3D skenování s využitím v bezpečnostních aplikacích.
3. Specifikujte základní technické požadavky na měřicí zařízení.
4. Zpracujte návrh komplexního bezkontaktního měřicího zařízení.
5. Realizujte konstrukci prototypu měřicího zařízení.
6. Ověřte a vyhodnoťte funkčnost prototypu.

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

1. HRUŠKA, František. SENZORY- Fyzikální principy, úpravy signálů, praktické použití [skriptum]. Zlín: Univerzita Tomáše Bati, 2011. ISBN 978-80-7454-096-7. 200 s.
2. Základní právní předpisy pro metrologii. Školící materiály ČMI. Brno: Český metrologický institut, 2015.
3. ČSN EN ISO 10360-2. Geometrické požadavky na výrobky (GPS) Přejímací a periodické zkoušky souřadnicových měřicích strojů (CMM): Část 2: Souřadnicové měřicí stroje používané pro měření lineárních rozměrů. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010. 31s. Třídící znak 252011.
4. VDI/VDE 2634 - Part 2 Optical 3-D measuring systems - Optical systems based on area scanning. ICS: 17.040.01, August 2012.
5. Sborníky technické harmonizace. Terminologie z oblasti metrologii. 2. vyd. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010. 162 s.

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Jan Valouch, Ph.D.

Ústav bezpečnostního inženýrství

Datum zadání diplomové práce:

3. února 2017

Termín odevzdání diplomové práce:

24. května 2017

Ve Zlíně dne 3. února 2017



doc. Mgr. Milan Adámek, Ph.D.
děkan



doc. RNDr. Vojtěch Křesálek, CSc.
ředitel ústavu

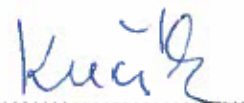
Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k prezenčnímu nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen v příruční knihovně Fakulty aplikované informatiky Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen připouští-li tak licenční smlouva uzavřená mezi mnou a Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně s tím, že vyrovnání případného přiměřeného příspěvku na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše) bude rovněž předmětem této licenční smlouvy;
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji,

- že jsem na diplomové/bakalářské práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

Ve Zlíně, dne 21.4.2014



podpis diplomanta

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá analýzou technických způsobů měření výrobků s důrazem na fyzikální a bezpečnostní význam uvedeného procesu. Práce dále popisuje oblasti 3D skenování, které nachází v dnešní době stále větší uplatnění v bezpečnostních aplikacích. Záměrem diplomové práce je nahrazení stávajícího mechanického snímacího zařízení bezkontaktním snímáním s výstupem pro zpracování výpočetní technikou. Stěžejním výstupem práce je vlastní návrh komplexního bezkontaktního měřicího zařízení včetně konstrukce a ověření funkčnosti prototypu v praxi.

Klíčová slova: měření, bezkontaktní měřicí zařízení, laserový snímač, ultrazvukový snímač, 3D skenování, výrobek.

ABSTRACT

The thesis deals with the analysis of technical metrics with emphasis on physical security and the importance of that process. The work describes the field of 3D scanning, which is nowadays more and more in security applications. The intent of the job in replacement of the existing mechanical scanning device with a contactless sensing output processing computers. The main outcome of this work is custom design a comprehensive contactless measuring device including design and verification of the prototype in practice.

Keywords: measurement, noncontact measurement device, laser sensor, ultrasonic sensor, 3D scanning, product.

Rád bych poděkoval zejména vedoucímu mé práce Ing. Janu Valouchovi Ph.D., který mně v mnohém poradil a nasměroval při tvorbě této diplomové práce.

Dále bych rád poděkoval svým kolegům z firmy za jejich cenné rady.

Závěrem bych touto cestou také rád poděkoval své rodině, která mě při tvorbě této práce podporovala.

OBSAH

ÚVOD	10
I TEORETICKÁ ČÁST	11
1 TECHNICKÉ ZPŮSOBY MĚŘENÍ VÝROBKŮ	12
1.1 FOTOELEKTRICKÉ SNÍMAČE.....	14
1.1.1 Laserové snímače s potlačeným pozadím	17
1.1.2 Analogové liniové snímače	18
1.1.3 Profilové snímače - optický detektor rozměrů a ploch	18
1.1.4 Optické závory	19
1.2 KAPACITNÍ SNÍMAČE POLOHY.....	20
1.3 INDUKČNÍ SNÍMAČE	21
1.4 ULTRAZVUKOVÉ SNÍMAČE	22
1.5 BEZKONTAKTNÍ MĚŘENÍ TERMOKAMEROU PRO BEZPEČNOSTNÍ APLIKACE	25
1.5.1 Termokamera FLIR Tau 2	25
1.5.2 Termokamera FLIR E6	26
1.6 OPTICKÉ SNÍMÁNÍ HLADINY	28
1.7 ENKODÉRY	29
1.8 KONCOVÉ SPÍNAČE.....	30
1.9 BEZPEČNOSTNÍ ELEKTROMECHANICKÉ ZÁMKY	31
1.10 LEGISLATIVNÍ RÁMEC PRO METROLOGII	32
1.10.1 Požadavky právních předpisů	32
1.10.1.1 Metrologie	33
1.10.1.2 Jednotnost a správnost měřidel a měření	33
1.10.1.3 Stanovení měřidel k povinnému ověřování a měřidel podléhajících schválení typu	34
1.10.1.4 Základní měřicí jednotky a ostatní jednotky a jejich označování	34
1.10.2 Technické normy v oblasti měření	35
2 3D LASEROVÉ SKENOVÁNÍ	37
2.1 OBLASTI PRO VYUŽITÍ 3D LASEROVÉHO SKENOVÁNÍ	38
2.1.1 Kriminální věda a forenzní vědy	44
2.1.1.1 Vyšetřování požárů	45
2.1.1.2 Zajišťování stop na místě činu	46
2.1.1.3 Vyšetřování dopravních nehod	47
2.1.1.4 Dokumentace dynamických zkoušek	48
2.1.1.5 Digitální archivace důkazů	49
2.1.2 Ochrana historických památek	50
2.1.3 Dentální aplikace	52
2.1.4 Plastická chirurgie	53
2.1.5 Kopírování výrobku	53
II PRAKTICKÁ ČÁST	55
3 ZÁKLADNÍ TECHNICKÉ POŽADAVKY NA MĚŘICÍ ZAŘÍZENÍ	56
3.1 BEZPEČNOST	56
3.1.1 Pokyny pro bezpečnost práce na stroji	57

3.2	POŘIZOVACÍ NÁKLADY	57
3.3	BEZKONTAKTNOST SNÍMÁNÍ	57
3.4	UZPŮSOBENÍ KONSTRUKCE PRO GEOMETRII MĚŘÍČÍHO PRACOVIŠTĚ.....	59
3.4.1	Popis zkušebního stroje.....	60
3.4.1.1	Pohon bubnu	60
3.4.1.2	Hydraulický zatěžovací systém	61
3.4.1.3	Upínací hlava kol	61
3.4.1.4	Hlídání poloh, signalizace.....	62
3.4.1.5	Popis řídicího systému	62
3.4.1.6	Elektrické provedení stroje	62
3.4.1.7	Ovládání stroje.....	62
3.5	MĚŘENÍ VE VODOROVNÉ I SVISLÉ POLOZE.....	63
3.6	PARAMETRY SNÍMÁNÍ.....	63
4	NÁVRH KOMPLEXNÍHO BEZKONTAKTNÍHO MĚŘÍČÍHO ZAŘÍZENÍ	65
4.1	NAVRŽENÉ SNÍMAČE PRO MĚŘÍČÍ ZAŘÍZENÍ	65
4.1.1	Laserový snímač vzdálenosti Baumer OADM 20I2480/S14C	65
4.1.2	Ultrazvukový snímač Baumer U500.DA0	66
4.2	LINEÁRNÍ VEDENÍ.....	67
4.3	NOSNÝ PROFIL.....	68
4.4	UPNUTÍ MĚŘÍČÍHO ZAŘÍZENÍ.....	69
4.5	CENOVÁ KALKULACE MĚŘÍČÍHO ZAŘÍZENÍ	70
5	KONSTRUKCE MĚŘÍČÍHO ZAŘÍZENÍ	72
5.1	ELEKTRICKÉ ZAPOJENÍ MĚŘÍČÍHO ZAŘÍZENÍ	73
5.1.1	Elektrické zapojení laserového snímače	73
5.1.2	Elektrické zapojení ultrazvukového snímače.....	75
5.2	KONSTRUKČNÍ POTÍŽE	76
5.2.1	Elektrické zapojení na statickém zkušebním stroji	77
5.2.2	Výměna pozice ultrazvukového snímače.....	78
5.3	KALIBRACE MĚŘÍČÍHO ZAŘÍZENÍ	80
5.3.1	Základní metrologické pojmy	80
5.3.2	Podmínky pro interní kalibraci.....	81
5.3.2.1	Kalibrace měřícího zařízení	81
5.3.2.2	Zpracování naměřených hodnot.....	83
6	OVĚŘENÍ MĚŘÍČÍHO ZAŘÍZENÍ V PROVOZU	86
6.1	MĚŘÍČÍ POSTUP	86
6.2	ZPRACOVÁNÍ NAMĚŘENÝCH DAT A NÁSLEDNÁ INTEGRACE DO PODNIKOVÉ DATABÁZE.....	87
6.3	MĚŘENÍ VÝROBKU.....	87
	ZÁVĚR	90
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	92
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	95
	SEZNAM OBRÁZKŮ	96
	SEZNAM TABULEK.....	99

SEZNAM PŘÍLOH.....	100
---------------------------	------------

ÚVOD

V každodenní praxi se setkáváme s měřením v různých činnostech, kdy nakupujeme v obchodech podle velikosti a váhy nebo v bezpečnostních aplikacích, kde jsou poplachy vyhlášovány na základě měření událostí. Je téměř nemožné najít něco, co by nebylo v dnešní době spojeno s měřením jako např. letová výška u letadel, spotřeba paliva nebo rychlost v dopravních prostředcích. Metrologie je nauka o měření, která se stala přirozenou součástí našeho každodenního života. Existence měřidel a schopnost používat je, má zásadní význam pro objektivní dokumentaci dosažených naměřených výsledků. Dnešní průmysl produkuje stále větší množství výrobků, které je potřeba měřit různými technologiemi a garantovat tak jejich přesnost. Některé výrobky vyžadují běžnou kontrolu měření, jiné zase si žádají přesnější měření, kde je kladen důraz na bezpečnost užívání výrobků. Jejich rozvojem se zvyšují náročnější požadavky na vývoj a výrobu snímačů, díky kterým lze velmi kvalitně výrobky měřit nebo je detekovat. Právě díky snímačům lze eliminovat chybový lidský faktor, který by mohl nastat při měření. K tomuto účelu slouží dnes velké množství obecných postupů a metod měření.

Měření můžeme rozdělit na kontaktní a bezkontaktní měření. Kontaktní měření se provádí pomocí různých měřidel, jako jsou posuvná měřidla, která patří mezi základní délková měřidla, která mohou být v digitálním nebo mechanickém provedení. Mezi další kontaktní měřidla lze zařadit úhlooměry, drsnoměry nebo přenosné souřadnicové měřicí přístroje (CMM Coordinate Measuring Machine), které umožňují uživateli snadné ověření kvality výrobků ve 3D měření.

Bezkontaktním měřením vzdálenosti se zvyšuje využití bezkontaktních technologií, kdy se mohou měřit povrchy, kterých se nelze během procesu měření dotknout. Mezi používané bezkontaktní metody řadíme triangulační metodu, konfokální, kapacitní nebo induktivní metodu. Tvar povrchu výrobku lze měřit pomocí 2D a 3D laserového skenování, kde 3D skenery díky svým inovacím a parametrům nastavují nový standard v oblasti metrologie. Na trhu je celá řada špičkových skenerů, které dokáží měřit s velkou přesností výrobky nebo objekty. Pak je především na zvážení každého uživatele ekonomická náročnost této technologie měření výrobků.

Stanovené požadavky, vlastní návrh a samotná konstrukce měřícího zařízení bude sehrávat významnou roli při zpracování diplomové práce, kde v závěru bude provedeno měření výrobků.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 TECHNICKÉ ZPŮSOBY MĚŘENÍ VÝROBKŮ

Cílem následující kapitoly je prezentace základních informací o měřicích systémech, které měří výrobky a to zejména z hlediska základních fyzikálních principů měření a aplikačních možností.

Kapitola popisuje technické způsoby měření výrobků, které lze provést za pomoci různých druhů snímačů, díky kterým můžeme výrobky měřit, automaticky řídit nebo regulovat. Využívání elektroniky v dnešní době klade stále vyšší nároky na měření a vyhodnocování elektrických a neelektrických veličin a tím se zvyšují náročnější požadavky na vývoj a výrobu snímačů, které mohou být připojeny přes rozhraní do sběrníkových sítí. Snímače jsou vstupní prvky měřicího systému, které přijímají informaci z okolí, od tělesa nebo látky, nesoucí veličinu, která má být měřena a jsou tak v přímém styku s měřeným prostředím.

Základní způsoby měření se dají rozdělit na:

- kontaktní měření vzdálenosti, úhlu, otáček, teploty,
 - posuvná měřidla, digitální úchylkoměry, úhlooměry, otáčkoměry, termočláňkové sondy,
 - souřadnicové měřicí přístroje.
- bezkontaktní měření vzdálenosti, teploty, úhlu natočení,
 - 2D laserové skenery,
 - 3D laserové skenery,
 - snímače – fotoelektrické, kapacitní, indukční, ultrazvukové, optické,
 - termokamery,
 - enkodéry.

Kontaktní měření se provádí pomocí různých měřidel, jako jsou posuvná měřidla, která patří mezi základní délková měřidla, která mohou být v digitálním nebo mechanickém provedení. Tyto měřidla využívají k odečítání hodnot noinovou stupnici a mohou měřit na výrobku vnější i vnitřní rozměry a také jeho hloubku. Další kontaktní měřidla jsou např. digitální úchylkoměry, dutinoměry, úhlooměry nebo drsnoměry.

Přenosný souřadnicový měřicí přístroj (CMM Coordinate Measuring Machine) umožňuje uživateli snadné ověření kvality výrobků provedením 3D inspekce, srovnání CAD modelů, trojrozměrné analýzy a reverzního inženýrství. Tento CMM nelze ale považovat jen za kontaktní měření, neboť vedle dotykových senzorů může měřicí sonda využívat další, nek kontaktní senzory např. optické snímače v podání bodových nebo liniových laserových snímačů. Uživatel si může zvolit typ snímače podle charakteristiky povrchu vyšetřovaného výrobku.

Bezkontaktní měření vzdálenosti zvyšuje využití technologie měření, které jsou ovlivněny mnoha faktory, z nichž těmi hlavními jsou, že zákazník potřebuje měřit výrobky mnohem přesněji s rozlišením v řádu mikrometrů nebo nanometrů. Díky bezkontaktním technologiím se mohou měřit povrchy, kterých se nelze během procesu měření dotknout např. keramik, sklo, plasty, miniaturní elektronické součástky, lékařské komponenty a potraviny. Pro přesné měření délek se používají metody založené na interferenci elektromagnetických vln, které využívají buď optické, nebo mikrovlnné spektrum.

Mezi používané metody se řadí:

- **triangulační metoda** pro měření vzdálenosti se používá tam, kde je vyžadována rychlá zpětná vazba a kde nelze použít kontaktní metody měření např. z důvodu, kdy je povrch výrobků příliš horký nebo měkký,
- **konfokální metoda**, která spočívá v zaměření polychromatického bílého světla na cílovou plochu pomocí soustavy optických čoček. Způsob uspořádání čoček je takový, že bílé světlo je rozptýleno do světla monochromatického pomocí řízené chromatické odchylky. Určitá odchylka je přiřazena ke každé vlnové délce při tovární kalibraci. Pro měření se využívá jen vlnová délka, která je přesně zaměřena na cílový povrch nebo materiál. Odrážející světlo od cílového povrchu, přechází přes konfokální clonu do přijímače a ten provádí detekci a zpracování spektrální změny. Tato metoda se používá pro velmi přesné měření posunutí a vzdálenosti,
- **kapacitní metoda**, která funguje jako snímač a výrobek ideální paralelní desky kondenzátoru. Tyto dvě elektrody jsou tvořeny snímačem a protichůdným výrobkem,
- **induktivní měřicí metoda**, která je založená na extrakci energie z oscilačního obvodu, kde tato energie je zapotřebí pro indukci vířivých proudů v elektricky vodivých materiálech [1].

Tvar povrchu výrobku lze měřit pomocí bezkontaktní metody 2D a 3D laserového skenování, kde 3D skenery díky svým inovacím a parametrům nastavují nový standard v oblasti metrologie. Používané 2D a 3D skenery pro bezkontaktní měření:

- **2D laserové skenery**, které fungují jako bezkontaktní 2D obrysové snímače s rozsahem 7 - 1450 mm. Tyto senzory jsou optické přístroje, které měří na základě triangulační metody a jsou vyrobeny pro průmyslové aplikace, kde poskytují svým provedením mnohostranné funkce k bezdotykovému měření vzdálenosti, tloušťky materiálu, kontroly pozice výrobků a jejich rozměrů [5],
- **3D skener**, který disponuje rozsahem až 350 m a používá se pro rychlou a přesnou digitalizaci prostoru nebo objektu,
- **mobilitní měřicí 3D skener**, který využívá promítání laserových křížů na skenovaný objekt, na kterém se dopadající svazky deformují podle křivosti povrchu,
- **ruční 3D skener** pro bezkontaktní snímání jakékoliv typu povrchu výrobku,
- **mobilitní 3D měřicí systém** s přesným laserovým zářičem, který je určený k inspekci rozměrově velkých součástí [4].

1.1 Fotoelektrické snímače

Fotoelektrické snímače pracují na principu detekce vráceného světelného svazku emitovaného vlastním snímačem nebo vysílačem. Zdrojem světla může být infračervená LED dioda nebo laserový modul, který bývá pulzně modulovaný pro eliminaci vlivu okolního světla.

V moderních technologiích mají snímače nadstandartní vlastnosti díky přesně fokusovanému svazku o velmi malém průměru pro detekci obzvláště malých součástí a jeho vysoká spínací rychlost ho řadí k nejmodernějším konstrukčním prvkům.

Fotoelektrické snímače se využívají v moderních technologických linkách i v jednotlivých strojích, kde jsou využívány pro bezkontaktní počítání, polohování a měření různých výrobků. Laserové snímače slouží pro velice přesné bezkontaktní měření vzdálenosti a pokrývají rozsahy od 20 mm do 1000 mm.

Snímače jsou k dispozici ve válcových kovových pouzdrech nebo v hranatých plastových nebo kovových pouzdrech, v kabelové nebo konektorové verzi. Čelo snímače obsahuje optickou čočku [5].

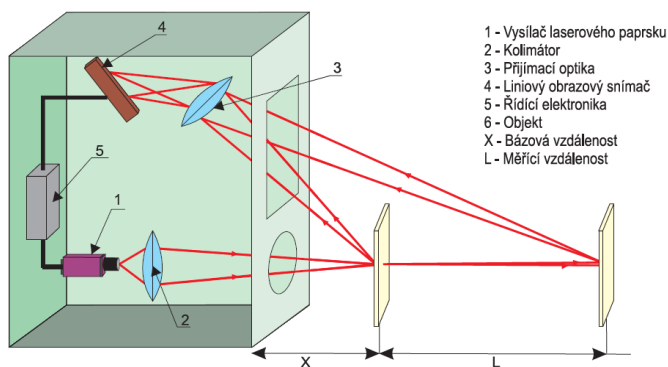


Obrázek 1. Fotoelektrické snímače [6]

Princip měření vzdálenosti triangulační metodou

Fotoelektrické snímače jsou přístroje, které měří na základě triangulační metody. Snímač vysílá ze zdroje světla laserový svazek, který je zaměřen přes optickou čočku a dopadá na objekt jako tečka nebo čárka. Svazek laseru zde není svázan do úzkého tvaru, ale je optikou vysílače rozšířen na světelný profil ve tvaru průřezu kužele.

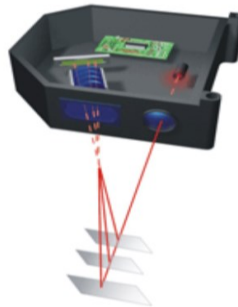
Část laserového svazku dopadajícího na objekt je odražena zpět pod určitým úhlem, který se mění v závislosti na vzdálenosti objektu od snímače a jeho velikost je přepočítána na vzdálenost. Změna úhlu je nelineární a o linearizaci se tak postará integrovaný mikroprocesor. Rozlišení snímačů je pro dané měřicí rozsahy různé. Za pomoci funkce Teach-in je možné si zvolit z měřicího rozsahu jen tu část, ve kterém se bude měřit a dosáhne se tak maximálního rozlišení bez nutnosti plýtvání rozsahu analogového výstupu na zrovna nevyužitých vzdálenostech. Funkcí Teach-in je možné nastavit dvě mezní hodnoty uvnitř analogových hodnot v rozsahu 4 – 20 mA. Snímač se umí velmi rychle adaptovat na změnu barvy objektu změnou vnitřní citlivosti. Digitální výstup (alarm) je aktivní v okamžiku, kdy nemůžeme dosáhnout požadované kvality měření např. nedostatek světla, znečištění snímače nebo objekt je mimo měřicí rozsah [6].



Obrázek 2. Princip měření vzdálenosti triangulační metodou [8]

Snímače jsou necitlivé na změnu barvy povrchu snímaného objektu a kompenzují nerovnosti povrchu. Pro snímání hrubých povrchů jsou k dispozici verze emitující laserovou linku, která je vhodná pro aplikace jako např. měření vzdálenosti perforovaných materiálů. Integrovaný mikroprocesor umí správně vyhodnotit situaci, kdy část laserového svazku dopadne na díru nebo na okraj snímaného objektu.

Díky polovodičové laserové diodě, která dosahuje výkonu 1mW a pracuje na vlnové délce červeného světla 670 nm, tak není potřeba zvláštních bezpečnostních opatření. Integrovaný mikroprocesor eliminuje potřebu externí vyhodnocovací jednotky, která provádí linearizaci a umožňuje tak předávat informace o poloze v digitální formě za pomoci sériového rozhraní RS232 nebo RS485 [6].



Obrázek 3. Princip laserového snímače [9]

Laserové snímače se vyrábí v provedení s bodovým svazkem pro měření kvalitních povrchů nebo verze s linkovým svazkem pro měření hrubých strukturovaných povrchů.

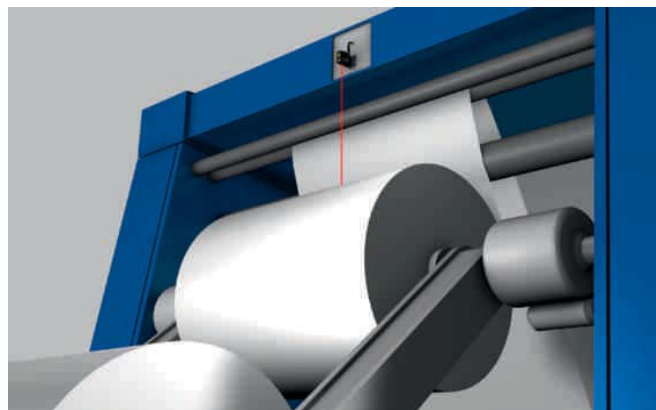
Aplikace laserových snímačů:

- přesné analogové polohování,
- bezkontaktní měření vzdálenosti,
- měření tloušťky výrobku,
- měření a regulace průvěsu,
- měření pozice žhavých objektů [6].

Výhody laserových snímačů:

- viditelnost světelného svazku laseru, který zlepšuje nastavení snímače na lince,
- malý průměr svazku, který nabízí detekci výrobků o velikosti řádově 0,1 mm,

- rychlá doba odezvy, která poskytuje snímání rychle se pohybujících předmětů,
- mikrometrický šroub, který dovoluje citlivě nastavit geometrii a snímací vzdálenost,
- ideální pro různé druhy povrchů snímání jak matných tak i drsných,
- mechanické provedení snímače umožňuje jeho kompaktnost a malé rozměry, díky kterým je snadno mechanicky nastavitelný do optimální polohy na lince nebo ve stroji.



Obrázek 4. Praktické využití laserového snímače [7]

1.1.1 Laserové snímače s potlačeným pozadím

Pracují na principu trojúhelníkové metody vyhodnocení polohy detekovaného předmětu a měří tak i tloušťku průhledných nebo průsvitných homogenních předmětů a ploch.



Obrázek 5. Laserový snímač s potlačeným pozadím [6]

Snímač je vybaven čočkou s měnitelnou polohou. Přijímač nedetekuje předmět na základě rozdílu intenzity světla, ale na poloze dané geometrií vysílače - přijímače - detekovaného předmětu [6].

1.1.2 Analogové liniové snímače

Analogové liniové snímače jsou speciální druh snímačů, které pracují s infračerveným světlem a odrazkou, kde svazek má tvar clony a stopa na odrazce má tvar linky. Princip měření spočívá v porovnání poměru objektu zacloněné a nezacloněné části odrazky. Snímače disponují rozsahem od 30 mm do 875 mm a rozlišením od 0,03 mm. Díky infračervenému světlu jsou snímače použitelné do prostředí s velkým stupněm znečištění prachem, pilinami, aerosolem vody a olejem.



Obrázek 6. Analogové liniové snímače [6]

Run time je metoda měření vzdálenosti, která spočívá v nepřímém měření času tak, aby signál mohl cestovat po celé délce rozsahu, který má být pokryt. To se děje způsobem, kdy odesílatel emituje signál synchronizačního impulsu barvy, který se odráží od objektu a ten je dále vzat přijímačem snímače. Elektronika čidla vyhodnotí čas fázového posunu a následně ho převede na informaci na dálku. Run time metodou jsou detekovány technologické objekty přesně a spolehlivě i na dlouhé vzdálenosti [7].

1.1.3 Profilové snímače - optický detektor rozměrů a ploch

Profilové snímače jsou schopny s přesností na mikrometry bezdotykově odměřit rozměry nebo plochy snímaného objektu a ty dále využít k vyhodnocení a přesnému porovnání.

V dnešních moderních aplikacích se klade požadavek na přesnou bezdotykovou kontrolu rozměrů, detekci tvaru profilů, velikosti mezer, měření úhlů, 2D kontrolu tvaru vyráběných profilů, kontrolu uhnutí hran, měření zkosení hran desek, přesnost montáže.

V závislosti na výšce povrchu skenovaného objektu se laserový svazek odráží od vysílače k přijímači pod různými úhly a na přijímači snímače tak vytváří 2D obraz profilu. Pohybem senzoru nebo objektu se dá prověřit celý povrch. Výstupem snímání tak může být i 3D obraz, který je lepší pro provádění složitějších měření [6].

Princip funkce profilového snímače

Jeho základem je opět triangulační metoda měření vzdáleností a rozměrů prostřednictvím úhlu odrazu světla od měřeného objektu. Ta je v současnosti asi nejpoužívanější technikou optického měření v moderním průmyslu. V dnešní době jsou kladeny stále vyššími požadavky výrobců a spotřebitelů na kvalitu nízkou cenu, rychlost výroby stále složitějších produktů a různých zařízení [6].

1.1.4 Optické závory

Optické závory je velká skupina snímačů, které jsou u konstruktérů velmi oblíbené a které pracujících na principu vysílač – přijímač nebo na principu snímače na odrazku. Důvodem jejich obliby je jejich necitlivost na proměnlivou barvu nebo na tvar dílu. Je možné detekovat vysoce transparentní materiály nebo předměty kulového nebo válcového tvaru, které jsou velmi obtížně polohovatelné. Uživatel pro správný výběr typu volí optickou závoru v podstatě jen podle snímací vzdálenosti. Speciální laserové typy jsou dostupné s různě fokusovaným svazkem a mohou se tak na délce 1m detekovat objekty převyšující vztažnou úroveň o 1mm nebo na vzdálenost cca 2 m detekovat přítomnost textilního vlákna. Detekovaný objekt musí být větší, než je aktivní zóna, pak dochází ke spolehlivému přerušení svazku.

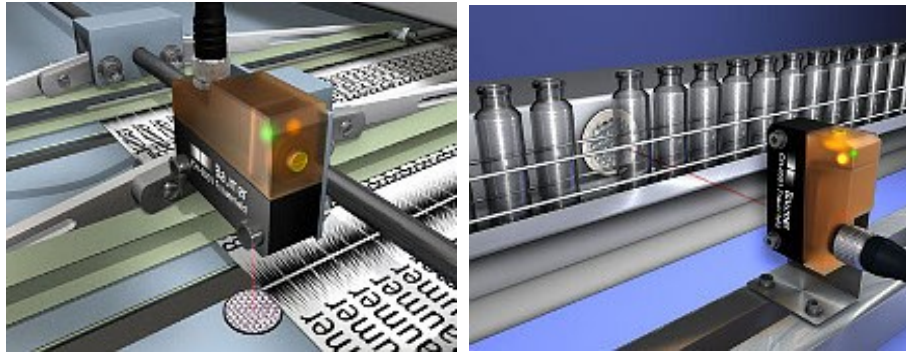
Doba odezvy je čas, který uplyne od přerušení světelného svazku do vypnutí bezpečnostního výstupu.

Bezpečnostní světelná závora je prvek, který je tvořen vysílačem a přijímačem a využívá dvou nebo více svazků. Závora se používá na rozpoznání např. lidského těla, ruky nebo prstů.

OSSD (Output Signal Switching device) je u některých optických závor označení pro bezpečnostní výstup, u kterých se používají bezpečnostní tranzistory PNP.

Využití optických závor slouží pro:

- počítání výrobků na dopravním páse linky,
- kontrolu překročení rozměrů,
- kontrolu při vybočení z předem nastavené dráhy,
- kontrolu obrysů výrobků [6].



Obrázek 7. Praktické využití optických závor [6]

1.2 Kapacitní snímače polohy

Kapacitní snímače poskytují bezdotykovou indikaci libovolných předmětů z elektricky vodivých i nevodivých materiálů s tím, že elektricky vodivý materiál vytváří další elektrodu a jejich využití je např. při hlídání stavu naplnění zásobníku kapalin nebo hlídání přetržení pásů na pilách [2].

Základním principem je převod měřené veličiny na kapacitu kondenzátoru a následný převod na zpracovatelný signál např. napětí, proud v logické nebo spojitě formě.

Základním vztahem je vzorec pro výpočet kapacity rovinného deskového kondenzátoru:

$$C = \varepsilon_o \cdot \varepsilon_r \cdot \frac{S}{d} \quad (1)$$

Kde: **C** - kapacita kondenzátoru [F]

ε_o - permitivita vakua [konstanta $8,854 \cdot 10^{-12}$ F/m]

ε_r - poměrná permitivita [F/m]

S - účinná plocha elektrod [m^2]

D - vzdálenost elektrod [m]

Jednotkou kapacity je *farad* [F], který je definován pro dva náboje vzdálené 1 m, které se pohybují rovnoběžně rychlostí 1 m/s a přitahují se silou 10^{-7} N [3].

Kapacitní snímač je složen pomocí:

- dvou snímacích elektrod - kondenzátor se základní kapacitou C,
- RC oscilátoru - měřicí kondenzátor je součástí RC oscilátoru,
- komparačního spínacího obvodu,

- výstupního obvodu.



Obrázek 8. Kapacitní snímače KD5039, KB5096 a KQ6016 od firmy ifm [10]

Metody vyhodnocení kapacity snímače:

- můstkové metody - měřicí kondenzátor je zapojen do jedné z větví můstku napájeného harmonickým napětím. Jejich parazitní kapacitu lze potlačit automatickým vyvažovaným transformátorovým můstkem,
- zpětnovazební obvody - měřicí kondenzátor je součástí děliče zapojeného do zpětné vazby operačního zesilovače. Zapojení je vhodné pro rozdílové senzory, kdy dojde k potlačení vlivem parazitních přívodů snímače k operačnímu zesilovači a jeho průběh výstupního napětí bude lineární,
- rezonanční metody - měřicí kondenzátor je součástí LC obvodu a kapacita se převádí na kmitočet oscilátoru. Snímač obsahuje dvě elektrody, a pokud se objeví předmět před aktivní plochou měřícího kondenzátoru, změní se kapacita snímače.

Kapacitní snímače jsou kvalitní, s vysokým činitelem jakosti, s malými rozměry, hmotností a s jednoduchou konstrukcí [3].

1.3 Indukční snímače

Indukční snímače pracují na fyzikálním principu Faradayova zákona, kdy elektrické napětí u , vzniká v magnetickém poli při dynamických změnách magnetického toku podle vztahu:

$$u = -n \cdot \frac{d\Phi}{dt} \quad (2)$$

kde n je počet závitů cívky a $d\Phi/dt$ je časová změna magnetického toku [3].

Princip činnosti spočívá v rozladování oscilátoru vlivem vířivých proudů po přiblížení kovové clonky k čelu cívky. Oscilátor vyzařuje do osy snímače vlnové elektromagnetické pole. Přiblížením kovového předmětu k čelu cívky začnou vznikat v indukční snímáči vířivé proudy, což způsobuje změnu amplitudy oscilací. Vzniká elektromagnetické pole, které

tlumí kmitání LC obvodu. Následuje rozladění oscilátoru a jeho výstupní signál je demodulován, kde komparátor napětí s ním porovnává prahovou hodnotu, a když je snímač zacloněn předmětem, překlopí klopný obvod. U výstupního impulsu dojde nakonec k jeho zesílení a natvarování. Na výstupu se objeví logická proměnná, která odpovídá stavu zaclonění [11].



Obrázek 9. Blokové schéma indukčního snímače, [11] upravil Kučík 2016

Hlavním parametrem indukčního snímače je jeho spínací vzdálenost, která je určena jako kolmá vzdálenost snímaného předmětu od aktivní plochy snímače, při které dojde k sepnutí. Zapojení indukčních snímačů do elektrického obvodu se provádí za pomoci dvou nebo tří vodičů. U třívodičového zapojení záleží, zda bude zátěž např. vstup programovatelného logického automatu PLC zapojena proti společnému kladnému (NPN) nebo zápornému (PNP) vodiči.

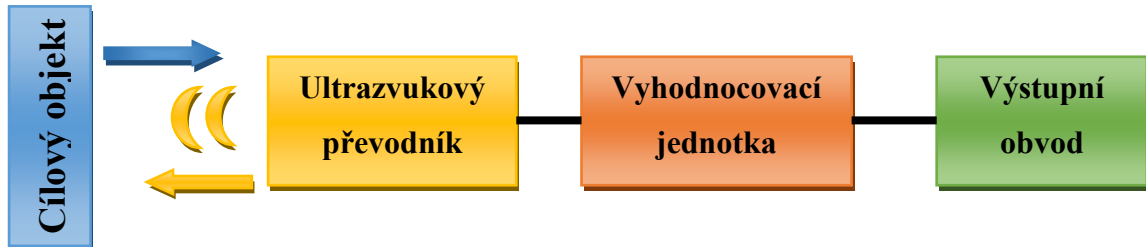


Obrázek 10. Induktivní snímače IF5807, IM0055 a IF0311 od firmy ifm [10]

1.4 Ultrazvukové snímače

Ultrazvukové snímače slouží pro indikaci předmětů a pro spojitě měření vzdálenosti předmětu od snímače. Princip spočívá v odrazu ultrazvukových pulsů od detekovaného objektu a z naměřené doby se při známé rychlosti šíření ultrazvuku vypočítá vzdálenost. Ultrazvukový převodník v kombinaci vysílač/přijímač vysílá krátký zvukový puls a následně se pak přepne do přijímacího režimu a je vyhodnocován přijatý ultrazvukový puls, u kterého se nejdříve zjistí, zda opravdu jde o vyslaný signál. Na základě délky intervalu vyslaný a přijatý puls se zjistí, jestli předmět leží v nastaveném rozmezí. Zvláštní zvukový snímač se používá pro ultrazvukové snímače přiblížení, což umožňuje alternativní vysílání a příjem zvukových vln. Tyto zvukové vlny vyzařované měničem se odrážejí od

objektu a putují zpět do snímače. Po vyzáření zvukové vlny se ultrazvukový snímač přepne do režimu příjmu. Doba, která uplynula mezi vysílací a přijímací vlnou, je úměrná vzdálenosti předmětu od snímače [2] [12].



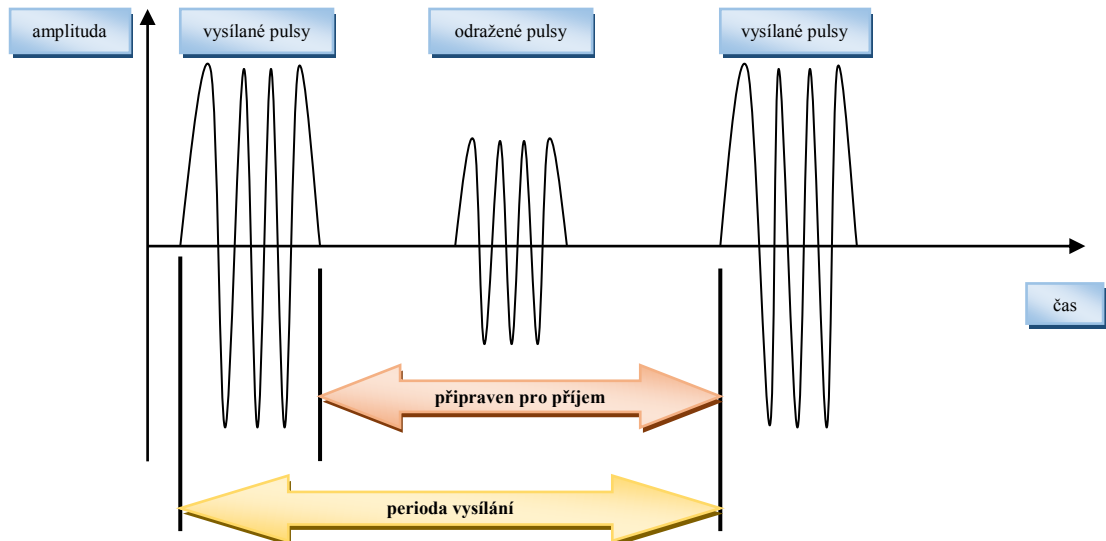
Obrázek 11. Blokové schéma ultrazvukového snímače, [12] upravil Kučik 2016

Digitálním výstupem je možné provádět snímání pouze v detekční oblasti. Požadovaný rozsah snímání je možné nastavit pomocí potenciometru snímače nebo elektronickou funkcí Teach-in. Pokud je objekt detekován ve stanoveném prostoru, tak změní výstup svůj stav, který je zviditelněn integrovaným LED světlem [7].



Obrázek 12. Ultrazvukové snímače ifm UGT515 a BAUMER UR18, U500, O500 [10], [7]

Cílová detekce zvukových vln se nejlépe odráží od tvrdých povrchů. Cílem mohou být pevné látky, kapaliny, granule nebo prášky. Ultrazvukové senzory slouží pro detekci objektů, kde by optické principy nemusely být spolehlivé. Čas, který uběhne od vyslaného impulsu k odraženému impulsu je $t = t_1 + t_2$ [12].



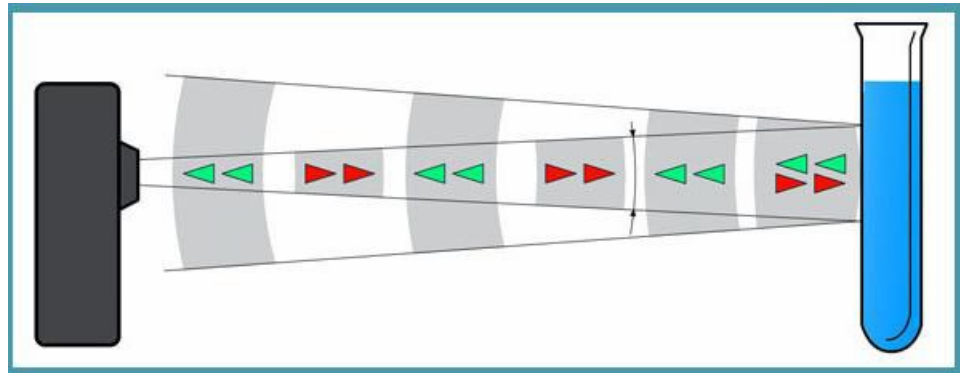
Obrázek 13. Vysílané a odražené pulzy, [12] upraven Kučík 2016

Standardní cíl je definován jako čtvercový plochý předmět, který by měl být namontován kolmo k ose snímače a má následující velikosti:

- rozměr 15 x 15 mm do 250 mm,
- rozměr 30 x 30 mm do 1000 mm,
- rozměr 100 x 100 mm nad 1000 mm.

Detekce zvukových absorpčních materiálů bude mít za následek snížení maximální snímací vzdálenosti. Této vzdálenosti může být dosaženo, pokud nepřesáhne maximální drsnost objektu 0,2 mm. Typické zvukově izolační materiály jsou např. pěnová guma, bavlna, plst.

Zvukový kužel profilového grafu představují aktivní snímací plochy pro ultrazvukové snímače. Graf demonstruje dosah zvukového postranního laloku, který rozšiřuje úhel clony na krátkou vzdálenost snímače. Vzhledem k absorpci zvuku a vzduchu difuze se lalůčky snižují u delších rozsahů. Velikost, tvar, povrchové vlastnosti a směr detekce cíle mají velmi vysoký vliv na boční detekční oblasti ultrazvukového snímače. Zvukový kužel profilu bývá v rozmezí 100 až 1000 mm. Profil je reprezentativní pro všechny související čidla stejného rozsahu snímání s digitálními nebo analogovými výstupy. Aerodynamický kužel je pak vyneseno spojením měřených bodů čarou. Tvar kužele se může měnit, pokud jsou zjištěny kruhové nebo jinak tvarované objekty [7].



Obrázek 14. Zvukový kužel profilového grafu ultrazvukového snímače [7]

1.5 Bezkontaktní měření termokamerou pro bezpečnostní aplikace

Termokamery jsou specifickým zařízením v oblasti snímání povrchové teploty, kdy dnešní konstrukce se blíží kamerám pro snímání obrazů ve viditelném světle s tím rozdílem, že snímají oblast infračerveného světla a mají jiný systém obrazových senzorů. Termokamera je složena z optického systému propustného materiálu pro daný rozsah měření, filtru, senzoru termovizního nebo i viditelného obrazu, elektroniky s mikrokontrolerem a displejem s ovládáním [2].

1.5.1 Termokamera FLIR Tau 2

Je stacionární termokamera, která je v současnosti nejrozšířenějším termokamerovým jádrem na světě. Termokamera nabízí pořízení infraobrazu ve vlnovém spektru 7,5 – 13,5 μm s obrazovou frekvencí až 30 Hz a je napájena přímo přes USB3 a data (8 nebo 14 RAW data) jsou přenášena do výpočetní techniky také přes USB3. Z bezpečnostní situace, která je popsána níže, tak právě díky přenosu přes USB 3, který by byl vyveden ze zkušebního stroje do bezpečného místa, by termokamera mohla být namontována na stroji v bezpečnostním pouzdře, kde by v případě destrukce pneumatiky nebyl nikdo ohrožen [13].



Obrázek 15. Termokamera FLIR Tau 2 [13]

Uživatel si může vybrat z různých variant rozlišení 640 x 512 pixelů, 336 x 256 pixelů nebo 160 x 128 pixelů. Ke kameře je dodáván software Workswell CorePlayer, který umí automaticky detekovat termokameru a nastavení její IP adresy. Teploty bývají zobrazeny v různých barevných paletách s interaktivní boční lištou a měřicími nástroji. Termokamera je vhodná pro všechny bezpilotní letouny (drony), bezpečnostní aplikace nebo malé infračervené detekční systém a zařízení.



Obrázek 16. Hlídaní perimetru termokamerou [13]

1.5.2 Termokamera FLIR E6

Termokamera FLIR E6 je určena pro všeobecné použití jak ve stavebnictví, tak i v průmyslu. Je využívána pro analýzu povrchových teplot obvodového pláště budov (vzduchotěsnost, tepelné mosty). V průmyslu jsou to např. elektrické rozváděče, ložiska a preventivní údržba. Dalším využitím termokamery diagnostika fotovoltaických panelů a průběžná kontrola fotovoltaických elektráren. Termokamera je plně kompatibilní se softwarem FLIR TOOLS a umožňuje tak profesionální analýzu jednotlivých snímků a tvorby jednoduchých i rozsáhlých protokolů s výstupem v PDF. Rozsah měřených teplot je $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ až $250\text{ }^{\circ}\text{C}$. Obsahem termokamery je i vestavěný digitální fotoaparát, který umožňuje pořízení fotografie vždy s termogramem (termovizním snímkem). Bez této funkce se termokamera dnes již neobejde, neboť umožňuje rozpoznat a přesně identifikovat místo měření i měřený objekt [14].



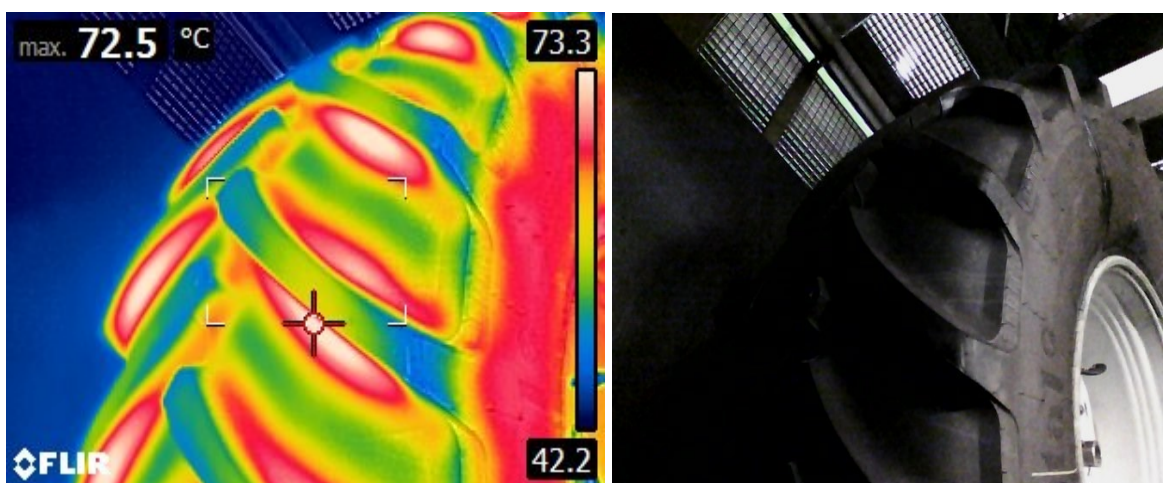
Obrázek 17. Termokamera FLIR E6 [14]

Izotermy

Izoterma - teplota nad, signalizuje místa, kde byla překročena určitá hranice maximálních přípustných hodnot, jak je vidět na (Obrázku 18.), kde je měřen výrobek (pneumatika).

Izoterma - teplota pod, signalizuje místa, kde byla překročena jistá hranice minimálních přípustných hodnot.

Izoterma – interval zobrazuje pouze ty hodnoty v termogramu, které se nacházejí v jistém intervalu teplot. Používá se tam, kde předem víme, v jakém rozsahu teplot se bude nacházet hledaný jev [15].



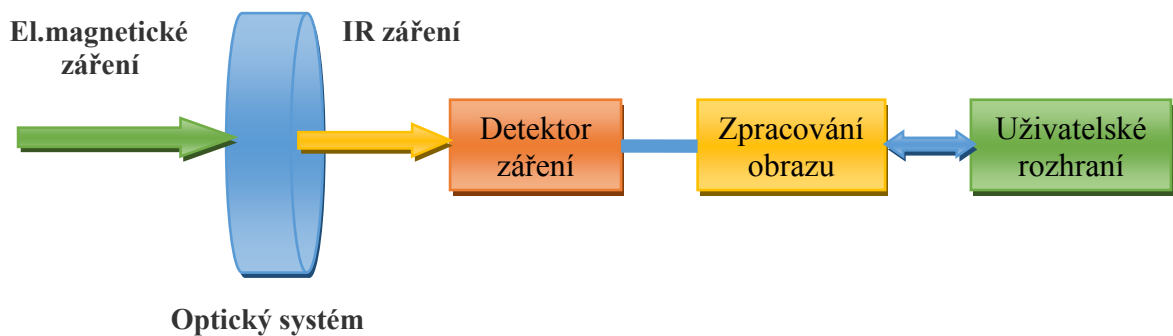
Obrázek 18. Měření teploty pneumatiky termokamerou FLIR E6 [vlastní zdroj]

Při měření tohoto typu může docházet k ohrožení obsluhy, která měření termokamerou provádí, neboť pneumatika je nahuštěná určitým tlakem a má zvýšenou teplotu. Hrozí zde destrukce výrobku a v případě, že se poblíž nachází obsluha, tak to může mít fatální následky.

Termografické měření je zatíženo třemi hlavními zdroji chyb, které vycházejí z rovnice termografie:

- emisivita – nejproblematičtější zdroj nejistot, který může způsobovat chyby o velikosti desítek a více procent,
- odražená zdánlivá teplota – ta je také velmi problematická, ale naštěstí méně pro materiály s vysokou emisivitou (stavební),
- vliv atmosféry – se může úplně zanedbat (vlhkost, teplota, vzdálenost).

Optika se vyrábí z germania s antireflexivní vrstvou o propustnosti 8 μm - 14 μm a sjednocuje dopadající IČ záření z okolí na detektor IČ záření. Detektor IČ záření převádí dopadající záření na elektrický signál, který je následně digitalizován. Aby mohl vzniknout z digitalizovaného obrazu termogram s dostatečnou kvalitou, tak se musí použít řady algoritmů pro zpracování obrazu např. číslicovou filtrací [15].



Obrázek 19. Blokové schéma termokamery, [15] upravil Kučik 2016

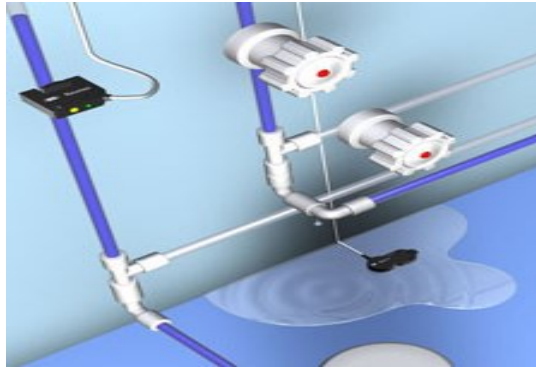
Parametry termokamery:

- teplotní rozsah, který je termokamerou měřen s uvedenou přesností.
- spektrální rozsah,
- přesnost stanovení teploty,
- optické rozlišení,
- NETD (Noise Equivalent Temperature Difference) je teplotní rozdíl, který vyvolá signál, který je dostatečně větší než vlastní šum detektoru [15].

1.6 Optické snímání hladiny

Měření výšky hladiny se používá pro automatizaci výrobních procesů např. k regulaci a řízení, nebo pro zajištění bezpečnosti provozu např. při signalizaci havarijních stavů [2].

Princip spočívá v přesném snímání přítomnosti hladiny. Zde není využíváno elektrického nebo teplotního kontaktu snímače k tomu, aby byla detekována spolehlivě přítomnost hladiny.



Obrázek 20. Optické snímání hladiny [6]

Infračervené světlo je využíváno k přenosu informace pro vyhodnocení přítomnosti hladiny. Princip snímače hladiny spočívá ve změně indexu lomu mezi materiálem snímače a detekovanou kapalinou. Pokud se snímač nachází mimo kapalinu, tak se světlo generované infradiodou odrazí zpět a je detekováno přijímačem snímače. Dojde-li k ponoření čela snímače do kapaliny, tak tento stav vyvolává změnu indexu lomu vyvedením světla ven z materiálu snímače a následná změna je snadno detekovatelná.

Snímače se dají použít pro snímání hladin následujících kapalin:

- alkohol, éter,
- roztoky kyseliny sírové (náplň akumulátorů),
- voda, ocet,
- kyselina chlorovodíková, kyselina mléčná [6].

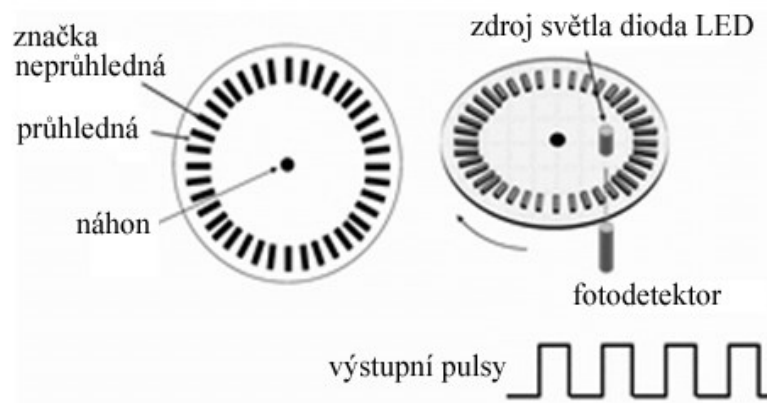
1.7 Enkodéry

Enkodéry jsou fotoelektrické systémy, které se používají pro velmi přesné měření rychlosti otáčení a rychlosti posuvů. Enkodér využívá fotoelektrický a optický systém pro snímání otočného a přímého posuvu s výstupem posloupnosti impulzů (inkrementální snímače). Tento systém slouží jako zdroj signálu pro rotační a lineární pohyby [2].

Princip inkrementálních snímačů spočívá v tom, že dráha (lineární nebo úhlová) je rozdělena na stejně velké úseky o velikosti Δs . Následně inkrementální snímač při překročení úseku vysílá jeden impuls, a proto je změřená poloha dána počtem přírůstků

(inkrementů) od zvolené počáteční polohy. Měření je provedeno na základě přičítání nebo odečítání impulsů. Základem konstrukce snímače je průhledný materiál, který má na sobě průhledné a neprůhledné plošky, podle kterých se provádí následné vyhodnocování. Nezáleží pak na tom, jestli se jedná o rovinný (pro rovinné pravítko) nebo kruhový tvar (pro úhlové natočení).

Inkrementální snímače se používají s pravítkem pro rovinné měření a se snímačem úhlu natočení.



Obrázek 21. Princip inkrementálního snímače [12]

Otáčením disku se vytváří světelné impulzy, které aktivují optický snímač a ten je následně převádí na elektrické impulzy nebo obdélníkový signál. Aby bylo zamezeno u inkrementálních snímačů rušení obdélníkových impulsů, tak se musí elektrický signál zesílit a dále musí být elektronicky zpracován. Pro zabezpečení proti rušení výstupních signálů může snímání probíhat v diferenciálním režimu, kdy se porovnávají dva téměř stejné signály s opačnou fází. Tímto způsobem se dá odstranit souhlasné rušení, protože stejné signály libovolného tvaru se vždy překryjí [12].

1.8 Koncové spínače

Koncové spínače slouží pro měření polohy pohybujících se částí různých technických zařízení. Působením neelektrické veličiny (mechanickým pohybem) dochází ke skokové změně odporu přepínáním kontaktu. Využívá se jako spínací prvek v oblasti bezpečnostních a signalizačních systémů.



Obrázek 22. Koncový spínač Schlegel EKUI-KH [16]

1.9 Bezpečnostní elektromechanické zámky

Bezpečnostní elektromechanické zámky mají v této kapitole své opodstatněné místo, protože patří k jednomu z nejdůležitějších bezpečnostních prvků na zkušebních strojích, které budou popsány v praktické části této práce.

Bezpečnostní zámky se skládají ze dvou komponent a to bezpečnostního spínače a odděleného aktuátoru. Bezpečnostní zámky slouží ke spolehlivému zabezpečení ochranných dveří na strojích a zařízeních. Využívá se integrovaného jištění ochranného krytu, kdy ho lze použít jak k ochraně procesu, tak k ochraně osob. Díky úzké konstrukci ho můžeme prostorově velmi snadno namontovat na ochranný kryt stroje nebo zařízení. Polohové bezpečnostní spínače disponují jisticí silou 2 600 N a účinně tak zamezují otevření ochranných dveří. Robustní sklolaminátové pouzdro snímače s kovovou otočnou hlavou je univerzálním pomocníkem v téměř jakékoli průmyslové aplikaci, kde může být drsné a znečištěné prostředí. Montáž se provádí tak, že bezpečnostní spínač se upevňuje na nepohyblivou část ochranného krytu a aktuátoru na pohyblivou část stroje nebo zařízení. Při zavírání ochranného krytu se aktuátor zasouvá do pouzdra bezpečnostního spínače. Dále bezpečnostní spínač rozezná čip transpondéru, který je vestavěný v aktuátoru a aktivuje tak zajištění ochranného krytu, kdy se zapnou bezpečnostní výstupy. Integrovaná ochrana slouží při nechtěném zavření k nepožadované aktivaci bezpečnostních výstupů ve chvíli, kdy aktuátor není úplně zasunutý do hlavy.

Mechanické jištění ochranného krytu se děje za pomoci silové pružiny a k odjištění dochází připojením napětí k jisticímu elektromagnetu (princip klidového proudu). Využívá se pro aplikace, v nichž je požadována ochrana osob [17].



Obrázek 23. Bezpečnostní elektromechanický zámek [17]

1.10 Legislativní rámec pro metrologii

Oblast metrologie je upravena řadou právních předpisů a především technických norem. Následující text obsahuje výběr základních ustanovení vybraných relevantních právních předpisů v dané oblasti a rovněž přehled stěžejních technických norem souvisejících s metrologií.

1.10.1 Požadavky právních předpisů

Základní právní předpis oboru metrologie představuje zákon č. 505/1990 Sb., o metrologii. Tabulka č. 1 uvádí přehled základních zákonných a podzákonných právních předpisů upravujících povinnosti při měření v metrologii.

Tabulka 1. Právní předpisy v oblasti metrologie [18]

Druh	Název
zákonné předpisy	Zákon č. 505/1990 Sb., o metrologii.
podzákonné předpisy	Vyhláška č. 262/2000 Sb., o jednotnosti a správnosti měřidel a měření.
	Vyhláška č. 345/2002 Sb., o stanovení měřidel k povinnému ověřování a měřidel podléhajících schválení typu.
	Vyhláška č. 264/2000 Sb., o základních měřicích jednotkách a ostatních jednotkách a o jejich označování.

1.10.1.1 Metrologie

Význam zákona č. 505/1990 Sb., o metrologii upravuje práva a povinnosti fyzických osob, které jsou podnikateli, a právnických osob a orgánů státní správy, a to v rozsahu potřebném k zajištění jednotnosti a správnosti měřidel a měření. V této souvislosti zákon upravuje:

- měřidla, která slouží k určení hodnoty měřené veličiny (etalony, pracovní měřidla stanovená a nestanovená, certifikované referenční materiály),
- návaznost měřidel, která jsou zařazena do nepřerušené posloupnosti přenosu hodnoty veličiny počínající etalonem nejvyšší metrologické kvality pro daný účel,
- schvalování typů měřidel vyrobených v tuzemsku,
- schvalování typů dovezených měřidel,
- certifikované referenční materiály, jejichž složení nebo vlastnosti byly certifikovány Českým metrologickým institutem (ČMI),
- ověřování a kalibrace měřidel,
- uvádění měřidel do oběhu a jejich používání [18].

1.10.1.2 Jednotnost a správnost měřidel a měření

Vyhláška Ministerstva průmyslu a obchodu č. 262/2000 Sb., definuje jednotnost a správnost měřidel a měření.

Žádost o schválení typu pracovního měřidla stanoveného podávaná u ČMI obsahuje:

- identifikační údaje o žadateli,
- identifikační údaje o výrobcí,
- údaje o deklarovaných metrologických parametrech.

Náležitosti certifikátu a značky schválení typu obsahují:

- výrok o schválení typu stanoveného měřidla,
- údaje o stanoveném měřidle (název, typ),
- dobu platnosti certifikátu,
- úřední razítko a podpis oprávněné osoby jejím jménem, příjmením a funkcí [18].

1.10.1.3 Stanovení měřidel k povinnému ověřování a měřidel podléhajících schválení typu

Obsahem vyhlášky Ministerstva průmyslu a obchodu č. 345/2002 Sb., je schvalování typu měřidel a prodloužení doby platnosti ověření měřidel, kde v příloze je sepsán druhový seznam stanovených měřidel podle oboru měření.

1.10.1.4 Základní měřicí jednotky a ostatní jednotky a jejich označování

Vyhláška Ministerstva průmyslu a obchodu č. 264/2000 Sb., definuje základní a odvozené jednotky SI a jejich dekadické násobky a díly.

Tabulka 2. Základní jednotky SI [18]

Veličina	Název jednotky	Značka
Délka	metr	m
Hmotnost	kilogram	kg
Čas	sekunda	s
Elektrický proud	ampér	A
Termodynamická teplota	kelvin	K
Látkové množství	mol	mol
Svítivost	kandela	cd

Odvozené jednotky SI jsou odvozeny od základních jednotek SI v souladu s fyzikální souvislostí mezi danými veličinami (např. plocha, rychlost, kmitočet, síla, výkon, indukčnost).

Tabulka 3. Předpony a jejich značky pro určení dekadických násobků a dílů [18]

Faktor	Předpona	Značka	Faktor	Předpona	Značka
10^1	deka	da	10^{-1}	deci	d
10^2	hekto	h	10^{-2}	centi	c
10^3	kilo	k	10^{-3}	mili	m
10^6	mega	M	10^{-6}	mikro	μ
10^9	giga	G	10^{-9}	nano	n
10^{12}	tera	T	10^{-12}	pico	p
10^{15}	peta	P	10^{-15}	femto	f
10^{18}	exa	E	10^{-18}	atto	a
10^{21}	zetta	Z	10^{-21}	zepto	z
10^{24}	yotta	Y	10^{-24}	yocto	y

1.10.2 Technické normy v oblasti měření

Technické normy jsou dokumenty, které obsahují technická pravidla nebo směrnice. V České republice se měřením zabývá řada norem, ale zde budou vybrány jen technické normy řady ČSN EN ISO 10360, které předepisují požadavky na souřadnicové měřicí stroje (CMM).

Norma ČSN EN ISO 10360-2 předepisuje přijímací a periodickou zkoušku, kterými se ověřuje, zda technický stav souřadnicových měřicích strojů, používaných pro měření lineárních rozměrů, odpovídá specifikaci. Zkoušky se používají pro souřadnicové měřicí stroje, které pracují s dotykovými snímacími systémy všech typů v režimu snímání diskretních bodů. Tato norma předkládá požadavky na metrologické charakteristiky, pracovní podmínky, měřicí zařízení a chybu při snímání [20].

Norma ČSN EN ISO 10360-4 předepisuje periodickou zkoušku a mezikontrolu pro verifikaci technického stavu souřadnicových měřicích strojů, které pracují v režimu skenování. Norma předepisuje požadavky na metrologické charakteristiky, podmínky prostředí, principy měření a periodické zkoušky [19].

Český metrologický institut, jako orgán, který provádí metrologický výzkum a uchování státních etalonů včetně přenosu hodnot měřicích jednotek na měřidla nižších přesností poskytuje možnost kalibrace souřadnicových měřicích strojů.

Zde by bylo vhodné zmínit ještě německou směrnici VDI/VDE 2634-2, která definuje způsob, kterým lze ověřit kontrolní postupy pro vyhodnocení přesnosti parametrů měření, které jsou založeny na snímání 3D optických měřicích systémů. Podle této směrnice se provádí v České republice kalibrace, která platí i pro 3D optické měřicí systémy založené na skenovací oblasti pracující na principu triangulační metody [21].

Dílčí závěr

Tato kapitola popisuje technické způsoby měření výrobků kontaktním a bezkontaktním měřením, kdy v dnešní době se kladou stále vyšší nároky na měření a tím se zvyšují i náročnější požadavky na vývoj a výrobu snímačů, které hrají důležitou roli při měření výrobků. Jednotlivé snímače pracují na různých fyzikálních principech a z praktického využití je řada z nich používána pro bezpečnostní aplikace jako např. snímače hladiny v bezpečnostním provozu mohou signalizovat havarijní stavy nebo koncové spínače umístěné na pásové pile detekují přetržení pilového pásu. Laserové snímače se dají využít pro vzdálené měření žhavých předmětů nebo k měření a regulaci průvěsu materiálu na páse. Jeden z nejpoužívanějších způsobů měření výrobků ve 2D a 3D souřadnicích je na

základě triangulační metody, která dosahuje velkých přesností a značného rozsahu při měření. Samotné měření, je upraveno řadou právních předpisů a technických norem, z nichž nejdůležitější je zákon č. 505/1990 Sb., o metrologii.

2 3D LASEROVÉ SKENOVÁNÍ

3D laserové skenování zaznamenalo na přelomu tisíciletí výrazný vzestup, kdy se stalo rychle se rozvíjející technologií bezkontaktního sběru prostorových souřadnic při dokumentaci výrobků nebo objektů a především se tak zvýšila přesnost a rychlost měření. Získané databázové soubory jsou dále využity jako datová základna pro 3D modelování a vizualizaci výrobků. Nedílnou součástí laserového skenování je jeho dostupnost a především je na zvažení každého uživatele ekonomická náročnost této technologie pro využití při měření výrobků všeho druhu. 3D skenování je finančně nákladné při jeho pořízení (počáteční náklady) a následných intervalech kalibrací v kalibrační laboratoři.

Skenování je proces, kde zařízení (skener) převádí vizuální stránku výrobku do binární virtuální podoby. Při laserovém skenování se pak využívá fyzikálních vlastností monochromatického světla o definovaných vlastnostech (laseru).

Laserový skener potřebuje pro správnou funkci sadu sférických terčů a 2D terčů, které se rozmístí do okolního prostoru digitalizovaného objektu nebo výrobku. Bývají to vždy minimálně 3 terče viditelné z jedné pozice skeneru, které se později využívají v procesu registrace (pozicování). Výhodou skeneru je, že se nemusí vypínat při přerušování na další pozici skenování, což urychluje sběr dat. Zdokumentované výrobky nebo objekty jsou následně pomocí specializovaných programů zobrazeny ve formě mračen bodů (point clouds) na jejich základě se vytvoří prostorové modely, které jsou dále využity ke zpracování výsledků měření. Pro mračno bodů je známá jeho poloha vůči skenované poloze. Počet bodů skenu je závislý na šířce záběru, tj. na úhlu snímání a na požadovaném rozlišení. Tento sken z jedné pozice nevystačí pro úplné 3D zobrazení celého snímaného výrobku, protože z ohniska je viditelná jen část povrchu výrobku a jiná část je v zákrytu.



Obrázek 24. Ukázka dat mračna bodů (vlevo) a polygonová síť (vpravo)[22]

Technické způsoby řešení a kombinace 3D skenerů, které využívají triangulační měření z konců známé základny, jsou následující:

- kamera a laser, které jsou umístěny na základně, kde se snímá stopa laseru na výrobku. Otáčí se výrobek nebo je otáčením zrcátka vychylován laserový svazek, kde je nutné při měření impulsním snímačem postup otáčení a vypočítá se správný úhel,
- dvě kamery a projektor strukturovaného světla, kde světlé a tmavé proužky slouží pro usnadnění lokalizace a interpolace,
- dvě kamery, které měří rotující stopu laseru bez nutnosti znát úhel otáčení laserové stopy,
- kamera pohybující se po určitém kroku na přesné základně.

Laserové skenery používají pro měření prostorové polohy bodu prostorovou polární metodu. Na pozici skeneru je pro každý měřený bod změřen horizontální a vertikální úhel a šikmá vzdálenost, která se měří na základě vyslaného a výrobkem odraženého svazku laseru, kdy je měření opakováno s vysokou frekvencí.

Pro měření prostorové vzdálenosti slouží technické modifikace:

- přímé měření vzdálenosti času letu laserového pulzu,
- porovnání fáze, kdy vyslaný svazek je modulován harmonickou vlnou a vzdálenost předmětu je vypočítána jako fázový rozdíl mezi vyslanou a přijatou vlnou.

Důležitým faktorem u 3D laserového skeneru je tvar zorného pole, které je maximální rozdíl krajních výstupních laserových svazků, které se uvádí ve stupních.

Laserový skener je složen z laserového dálkoměru, ve kterém je zaveden pulsní laser emitující záblesky infračerveného světla a skenovacího mechanismu, který provádí určení směru vyslaného svazku [22].

2.1 Oblasti pro využití 3D laserového skenování

V současné době je celá řada oblastí, kde technologie 3D měření umožňuje měřit s vysokou přesností výrobky, objekty a maximalizovat tak jejich efektivitu, zlepšovat procesy při výrobě a v bezpečnostních aplikacích (kriminalistika).

Oblasti využívající 3D laserové skenování jsou následující:

- stavebnictví a geodézii,
- reverzní inženýrství - tvorba parametrického CAD modelu z 3D naskenovaných dat,
- automatizované kontroly kvality a ověřování na montážních přípravcích,
- kontrola plechových dílů, obrábění, zpracování kovů a montáž,
- automobilový průmysl,
- letecký a lodní průmysl,
- zbrojní průmysl,
- kriminalistika a forenzní vědy,
- ochrana historických památek,
- lékařství.

Přístroje pro 3D měření jsou používány pro kontrolu komponentů a sestav, plánování výroby, dokumentující struktury ve 3D. Ve strojírenství, automobilovém a leteckém průmyslu jsou kladeny vysoké požadavky na kontrolu výroby dílů, a vzrostly tak nároky na jejich měření. Zejména pak designové díly karoserie automobilu se dnes bez 3D skenování prakticky neobejdou. Záběr této stále se rozvíjející technologie je opravdu široký a uplatnění nachází ve stále nových oborech.

Kontrola kvality výroby se nejčastěji používá 3D skenováním, zda daný výrobek odpovídá teoretickému CAD modelu, který navrhl konstruktér. Určitě nemá význam skenovat hřídel, když nás zajímá jen její průměr a k tomu nám stačí měřit posuvným měřidlem nebo mikrometrem.

Pokud se ale bude měřit na hřídeli její válcovitost, tak zde si s jednoduchými měřidly už nevystačíme. Proto se tedy skenují takové objekty, které jsou tvarově složité a nelze je proměřit klasickými měřidly jako např. plastový výlisek, lisovací nástroje, tvarové vyjiskřovací elektrody. Je-li právě naskenovaný díl vyroben přesně, se dá zjistit podle CAD modelu pomocí barevné mapy odchylek. Z takové analýzy lze rychle určit, zda je výrobek vyroben v dané toleranci. Optickým 3D skenováním se dokáže za krátký čas nasnímat velký počet bodů a proto je využití 3D skenování hlavně tam, kde je potřeba povrch objektu popsat včetně drobných detailů [29].

V současné době je na trhu řada výrobců laserových skenovacích systémů, kteří se zabývají vývojem a výrobou těchto přístrojů. Patří k nim společnosti Leica, Trimble, Rigel, Minolta, Mensi, Optech, Breuckmann, Zoller a FARO.

Jako příkladem výrobce výše uvedených technologií je americká firma FARO vyrábějící prostorové laserové skenery. 3D skenery FARO s označením Focus X30 nebo X330 pracují v rozsahu 30 m až 330 m a jejich použití je tam, kde aplikace vyžaduje rychlou a přesnou digitalizaci prostoru nebo objektů. Tyto skenery jsou určeny pro skenování interiérů i exteriérů budov, fasád, automobilů, lodí, letadel, ale může být využit i pro digitalizaci prostor se stíněným přístupem jako např. vodovodní šachty či potrubí. Skenery umí pracovat i v obrácené poloze o 180°, hlavou dolů a mohou tak digitalizovat prostor pod sebou. Obsahem vybavení skeneru je interní baterie, která má výdrž 5 hodin v plném provozu a skener se může připevnit na lehký uhlíkový stativ, kdy přístroj se stává samostatným a použitelným i v těch nejnáročnějších provozech. Za pomoci elektronického výškového barometru je detekována výška skeneru používané při registraci. Skener se využívá také na zpracování havarijních plánů a bezpečnostních opatřeních prostřednictvím autentických virtuálních reprezentací [23].



Obrázek 25. Skener FARO Focus X330 [23]

Pro 3D skenování je využíván laserový svazek o bezpečné vlnové délce 1550 nm. Přístroj svazek vyšle do okolního prostoru a je schopen naměřit až 976 000 prostorových bodů za sekundu. Tento prostor může být nasnímán operátorem v rozsahu 360° horizontálně a 305° vertikálně. Výsledná mračna miliard bodů jsou matematicky popsána souřadnicemi X, Y, Z, R, G, B. Skener má uvnitř pouzdra zabudovaný fotoaparát, díky kterému dokáže snímat i barevné informace, textury objektů a povrchů v milimetrové přesnosti. Ovládání

skenerů je přes dotykový LED displej či WIFI přístupový bod. Za použití chytrého telefonu, tabletu nebo notebooku je možné skener na dálku bezpečně ovládat [23].



Obrázek 26. FARO Focus S 350 a uhlíkový stativ [26]

Skener neobsahuje žádné mechanické pevné disky, takže se uživatel nemusí obávat, že přijde o důležitá data, vše je ukládáno na SD kartu s kapacitou 32 GB. Skener lze připojit přes Ethernet LAN rozhraní. Vhodný software FARO SCENE se dodává se skenerem a je určený pro rychlou a efektivní práci s 2D a 3D daty, kde je podpora od všech CAD systémů. Údržba a kalibrace skeneru se provádí jednou za rok [23].

Měřicí ramena FARO Arm

Faro Arm je přenosný souřadnicový měřicí přístroj, který umožňuje výrobcům snadné ověření kvality výrobku provedením 3D inspekce, srovnání CAD modelů, trojrozměrné analýzy a reverzní inženýrství. Komunikace u všech měřících ramen je prostřednictvím bezdrátového rozhraní Bluetooth, slotem pro paměťovou kartu a dotykovým displejem, který je ideální pro jednoduché měření bez použití počítače. Měřicí ramena mají vyřešeno napájení díky baterií, která má životnost až 8 hodin v provozu. Teplotní senzory, které jsou vestavěné v každém kloubu, umožňují kompenzovat změnu teploty pro dosažení maximální přesnosti a mobility zařízení. Měřicí rameno je upínáno 90 mm základnou, kterou lze pro měření připojit magnetem, vakuovou přísavkou nebo uhlíkovým stativem. Komfort práce s měřícím ramenem poskytuje neomezená rotace kloubů a senzory přetížení, které zamezují možnosti vzniku chyb. Ramena jsou vyráběna v šestikloubovém i sedmikloubovém provedení s odnímatelnou rukojetí, které se využívá ve spolupráci s bezdrátovým laserovým liniovým skenerem s technologií červeného laseru. Všechny modely měřících ramen mají opakovatelnost měření jednoho bodu v prostoru v řádech tisíců milimetrů. Ramena poskytují rychlé skenování až 560 000 bodů za sekundu o vysokém rozlišení 2000 bodů na linku. Technologie modrého liniového laseru pracuje

s kratší vlnovou délkou a lépe se tak vypořádá s lesklými, čirými a tmavými povrchy. Měřicí ramena se využívají u armád, námořnictvích a vzdušných sil po celém světě a pomáhají s výrobou vojenských vozidel a zbraní jako jsou tanky, fregaty a stíhací letadla [23].



Obrázek 27. Měřicí ramena FARO Arm Edge a Arm Fusion [26]

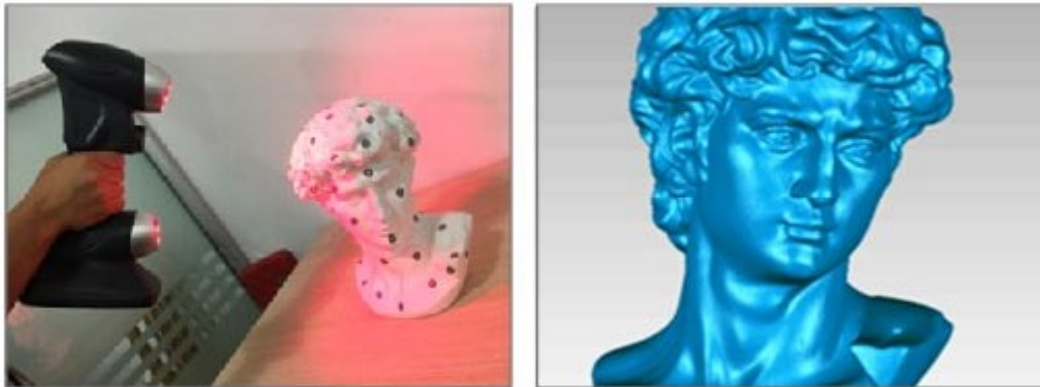
Mobilní měřicí 3D skener

Skener využívá laser typu II s označením PreciSCAN. Princip skeneru spočívá v promítání laserových křížů na skenovaný objekt, na kterém se dopadající svazky deformují podle křivosti povrchu. Deformace se docílí snímáním dvěma velmi rychlými a precizními obrazovými snímači a na základě triangulační metody se pak automaticky vypočítá 3D model skenovaného objektu. Skener dokáže skenovat třemi až sedmi laserovými kříži, kde právě množství laserových křížů je závislé na rychlosti, detailnosti a preciznosti skenování. Redukcí artefaktů v nasnímaném skenu lze měřit rozměry mezi různými materiály a snížit tak jejich nejistoty měření.



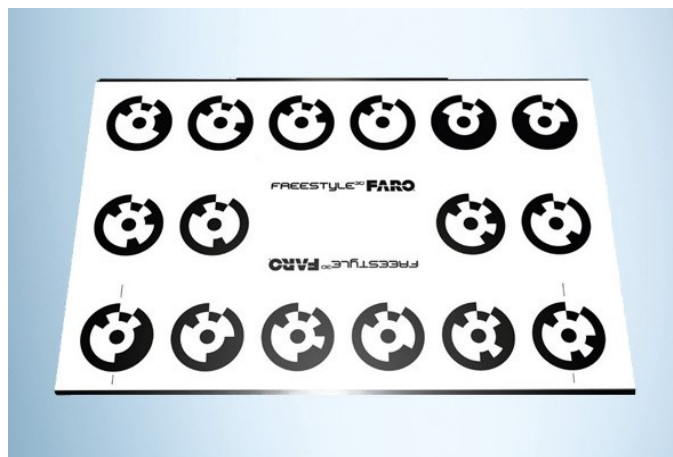
Obrázek 28. Skener PreciSCAN [23]

Ruční 3D laserové skenery disponují vysokou mobilitou a rychlostí sběru dat. Skener pracuje s mobilním počítačem, do kterého se vkládají parametry skenování jako je rozlišení a informace o materiálu skenovaného objektu. Skener umí nasnímat černé i světlé lesklé materiály. Aby se skener dokázal orientovat v prostoru, využívají se markery, což jsou reflexní značky, které se rozmísťují v oblasti skenovaného dílu, nebo se nalepují přímo na díl a to do oblasti, kde chceme provádět snímání povrchu [23].



Obrázek 29. Skenování sochy s využitím markerů [23]

Ideální skenovací vzdálenost je 300 mm a přesnost měření se pohybuje okolo 0,02 mm. Laserový skener se vyznačuje rychlým sběrem dat, který je 205 000 prostorových bodů za sekundu. Skenování může probíhat pouze jednou laserovou linkou, která umožní skenování úzkých hlubokých otvorů. Součástí laserového skeneru je kalibrační deska, kdy uživatel si může sám kdykoliv provádět kontrolu přesnosti systému (uživatelskou kalibraci) [23].



Obrázek 30. Kalibrační deska pro kontrolu přesnosti [26]

2.1.1 Kriminalistika a forenzní vědy

Laserové skenery mají své využití v oblasti forenzních věd a kriminalistiky pro:

- vyšetřování požárů,
- zajišťování stop na místě činu,
- vyšetřování dopravních nehod,
- dokumentaci dynamických zkoušek,
- digitální archivaci důkazů.

3D skenery slouží k provedení podrobné studie místa činu a následně k analýze, která pomůže zajistit autentickou rekonstrukci zločinu. Kriminalisté zajišťují na místě činu stále menší a menší stopy, což je důležité právě při vyšetřování mnoha násilných trestných činů [24].

Mezi nejmodernější metody zaznamenávání místa činu v oblasti vědy a výzkumu se v poslední době dá považovat využití metod 3D skenerů, laserových skenerů a bezpilotních UAV systémů (dronů). UAV systémy slouží pro zpřehlednění situace a zefektivnění záchranných prací, kdy se mohou pořídit kvalitní letecké záběry při zásahu složek Integrovaného záchranného systému, spolupráce policie a pořadatelských agentur k monitorování rizikových demonstrací a pomoc při vyhledávání pohřešovaných osob.

Laserový skener je přístroj, který se umístí na místo činu a ve velmi vysokém detailu milimetrových přesností umí naskenovat celý prostor ve 3D. Následné záběry dostanou kriminalisté, kteří na svém počítači už mohou pracovat a prohlížet si místo činu opakovaně. Sken by byl v budoucnu přínosem i pro soudní znalce, státní zástupce anebo soudce, kteří nebyli na místě činu, ale díky 3D skenu si ho mohou místo činu projít a udělat si o něm následně přehled. Výhoda spočívá v tom, že výsledný sken je velmi ucelený, přesný, přehledný a jedná se tak o zrychlení celého postupu ohledání místa. Laserový skener dokáže objektivně zadokumentovat místo činu bez možné chyby policisty, který může provést buď špatné měření anebo špatné vytvoření plánu, kdy je potřeba opatrnosti při zadokumentování stop.

Metoda laserového skenování byla použita, kdy na dálnici D1 došlo k vytlačení automobilu, v případě dopravní nehody Romana Janouška anebo při nešťastném uhoření na pražském Hlavním nádraží, kdy se ukázalo, že to vlastně byla vražda.

Někdo by mohl argumentovat u soudu, že byl sken upraven nebo došlo ke zmanipulování počítačového skenu. Tato úprava by byla velmi složitá, protože se jedná o miliardy bodů v prostoru popsány souřadnicemi (x, y, z), kdy to vlastně není fotografie, která by byla jakkoliv vyčištěna, ale jedná se o prostorový sken. Přesně jsou to body zaměřené v milimetrové přesnosti.

2.1.1.1 Vyšetřování požárů

Díky metodě laserového skenování dochází k velkému zrychlení zadokumentování místa požáru. Bez laserového skenování může trvat zadokumentování i několik hodin pokud se jedná o rozsáhlý požár. Sken je pak velmi dobrým materiálem pro další vyšetřování, kdy se dají z něho vyhledávat jednotlivé informace, které jsou v daný čas důležité [25].



Obrázek 31. Postup při pořizování 3D skenu na místě činu [25]



Obrázek 32. Ukázka 3D skenu místa činu [25]

Metoda laserového skenování by sjednotila výstupy od policie České republiky, které se dále předávají státnímu zástupci, soudu, soudním znalcům, kteří zpracovávají znalecké posudky a došlo by tak ke zkvalitnění této práce.

2.1.1.2 Zajišťování stop na místě činu

V oboru kriminalistiky se objevuje poměrně nová metoda analýzy krevních stříkanců, která má své uplatnění ve Spojených státech amerických. Jsou-li krevní kapky a krevní stříkance velmi dobře zadokumentované, čehož se dá docílit právě díky metodě digitální dokumentace místa činu, může se potom nasimulovat a analyzovat krevní rozstřík, a tak určit detaily trestného činu. To právě v dnešní kriminalistice zatím chybí [25].



Obrázek 33. Zajišťování stop na místě činu [26]

Firma FARO, v oboru měřicích systémů zásobuje světové policejní složky s vysoce kvalitním a snadno ovladatelným 3D laserovým skenovacím zařízením, které je ideální pro použití v náročném oboru forenzních věd.

Díky 3D laserovému skeneru může být místo činu snadno zachyceno ve vysokých detailech a hlavně velmi rychle. S 3D lasery mohou pracovat forenzní týmy při rekonstrukci případu a sdílet je s ostatními odděleními bez ztráty kvality na důkazech i v průběhu dalších let. Laserový skener zachytí téměř jakýkoliv typ povrchu v celé řadě prostředí a poskytuje tak velký prostor pro úplnou digitalizaci [23].



Obrázek 34. Ohledání místa činu s FARO Freestyle[26]

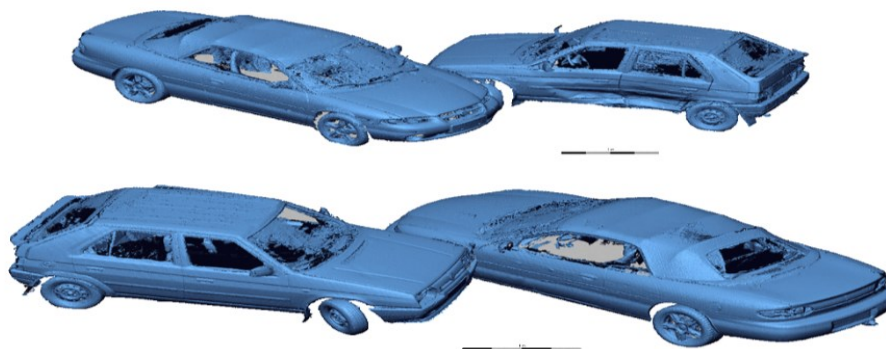
Jedná se o bezkontaktní snímání, při kterém se nemusí nalepovat žádné značky, které jsou v kontaktu s digitalizovaným objektem nebo jsou rozmístěny v prostoru. Laserový skener dokáže snímat až 88.000 bodů za vteřinu, které jsou plně barevné a mají R, G, B informaci. Pro 3D skenování se používá laser třídy 1, který má laserový svazek o bezpečné vlnové délce. Laser komunikuje při přenosu dat přes USB rozhraní, které využívá pro své napájení buď přímo z tabletu, nebo pracovního notebooku a nepotřebuje tak externí napájení 230 V při sběru dat [23].

2.1.1.3 Vyšetřování dopravních nehod

V případě dopravních nehod lze skener použít ke shromažďování a uchování 3D obrazů poškozených vozidel a jejich vzájemné polohy po nehodě. To pomáhá dopravní policii i pojišťovnám provést podrobnou studii a slouží k přesnějšímu posouzení povahy a příčin nehody. Vyšetřovatelé mohou rychle zaznamenat velké objemy dat a přenést tak virtuální scénu do kanceláře.



Obrázek 35. Ohledání dopravní nehody [26]



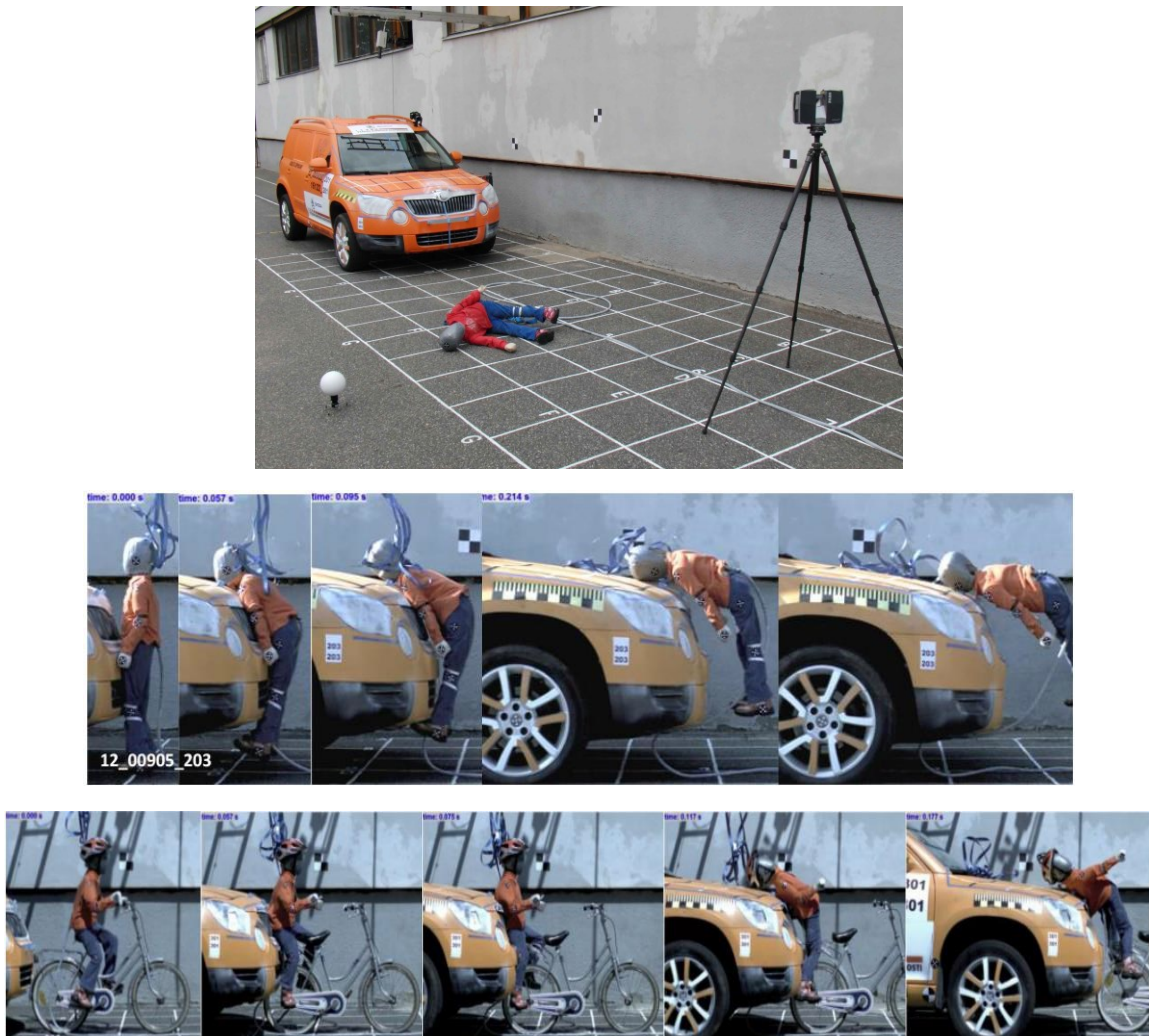
Obrázek 36. Dopravní nehoda Škody Favorit a Chrysleru, kdy data z nárazové zkoušky budou použity ve forenzní analýze skutečného případu [Zdeněk Marek]

2.1.1.4 Dokumentace dynamických zkoušek

Příkladem pokusu detekovat laserovým skenováním nehodu je práce Ústavu soudního znalectví v dopravě, která se zabývala sérií dynamických zkoušek dětského chodce a pasivní bezpečnosti dětského cyklisty při střetu s osobním vozidlem kategorie M1. V rámci zkoušek bylo využito vozidla ŠKODA Roomster. Při testech se sledovaly kontaktní zóny na přídě vozidla včetně poškození, kde byla využita technologie 3D skenování.

Na upravené dětské figuríně typu P6 se sledovaly pohyby zrychlení hlavy, hrudníku, pánve, kolenního kloubu ve směru nárazu a průběh kontaktní síly na stehenním segmentu figuríny. Textura povrchu vozovek je zjišťována za pomoci odměrné metody, fotogrammetrie a skenování pomocí 3D skeneru. Důležitým výsledkem je najít nové

možnosti při zjišťování textury a protismykových vlastností povrchu vozovky díky skenování povrchu bezkontaktním skenerem [27].



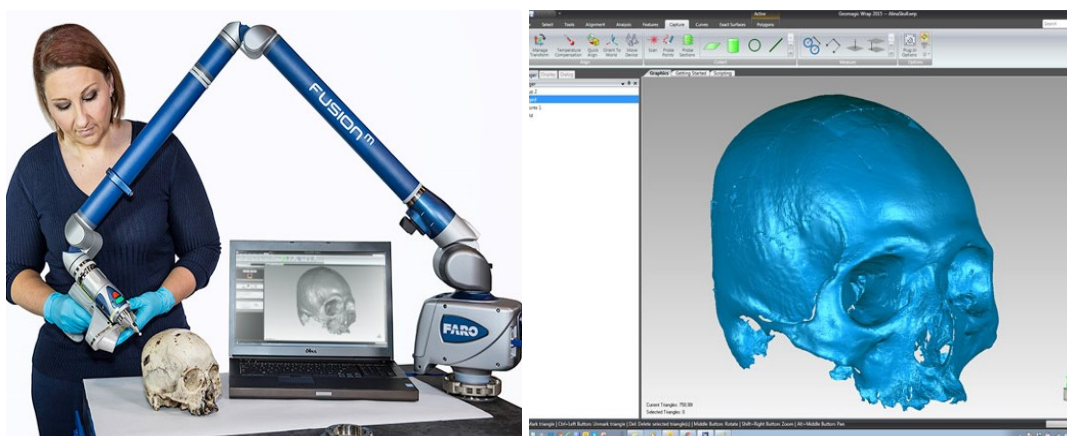
Obrázek 37. Dynamické zkoušky dětského chodce a dětského cyklisty při střetu s osobním vozidlem skenované s FARO Focus [27]

2.1.1.5 Digitální archivace důkazů

Kriminalistika ještě v 21. století neopouští papírové spisy, ale v budoucnu se dá počítat s virtuálními prohlídkami na místě činu a zjednodušením spisového materiálu. Spisová agenda je velmi náročná na vyznání se ve všech materiálech jednotlivých případů [24].

V některých případech může trvat roky, než dojde k vyřešení složitého případu, který může být znovu otevřen v důsledku odvolání, nebo mohou být nalezeny nové důkazy. Laserové skenování dat zajišťuje trvalé a přesné 3D digitální záznamy o důkazech, ze kterých lze provádět měření a analýza může být provedena dokonce i o desetiletí později.

Pro analýzu a archivaci digitálních důkazů mohou sloužit měřicí ramena, která jsou vybavena opticky špičkovou technologií modrého laseru s vysokou rychlostí skenování dat a rozlišením se schopností bezproblémově naskenovat náročné forenzní důkazy a artefakty. Jedná se o přenosné přístroje, které jsou vhodné pro měření s pracovní plochou v laboratořích antropologie a kriminalistických laboratořích. Při montáži měřicího ramene za pomoci stativu nabízí měřicí rameno vyšetřovatelům široké spektrum možností, jak využít přístroj na různých místech [26].



Obrázek 38. Skenování a exportování dat pro rekonstrukci obličeje [26]

Díky datům naskenovaným měřicím ramenem mohou být použity k pomoci identifikovat oběti, dokumentovat traumatická poranění kosti a pomoci vyřešit závažný zločin.

2.1.2 Ochrana historických památek

Technologie 3D laserového skenování přináší v památkové péči posun v poznání:

- zvýšení ochrany historických památek,
- objektivitě při dokumentaci stavu památek před restaurátorským zásahem a komparace stavu památky po zásahu, kdy se určí jejich změna stavu,
- přesnosti zadokumentování historických památek [22].

Díky této technologii by se daly znovu zrekonstruovat starobylé památky v Sýrii (Vítězný oblouk v Palmýře), které byly zničeny Islámským státem. Tyto starobylé památky mají nevyčísitelnou hodnotu a nenávratně je tak zničeno kulturní dědictví celého lidstva.

Při naskenování digitálního modelu pískovcové sochy se dá zjistit, jaký vliv má prostředí na erozi pískovce. Pokud se socha naskenuje s rozstupem několika let, tak lze zjistit, jak dané prostředí tuto památku může znehodnotit. V případě vzácných soch může dojít

k zásadnímu rozhodnutí, kdy nejlépe vyrobit kopii dané sochy, aby byl originál zachován i pro budoucí generace [29].



*Obrázek 39. Pískovcová socha světce svatého Jana Křtitele na Maltézské náměstí v Praze
[Zdeněk Marek]*

Hrozí-li poškození sochy odlomením některé z její části, tak se někdy těžko dohledávají fotky, podle kterých by sochař zrestauroval alespoň přibližně tuto chybějící část. Pokud je ale k dispozici 3D sken původního stavu, lze tuto chybějící část vyrobit rychle a přesně.

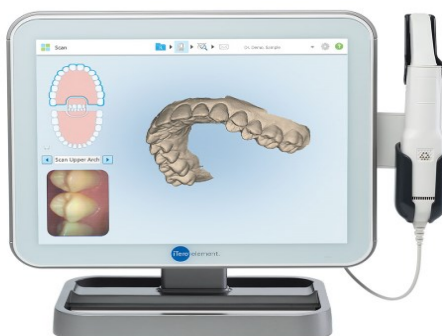


Obrázek 40. 3D model rekonstruovaného objektu [Zdeněk Marek]

2.1.3 Dentální aplikace

Trendem posledních let je využití 3D skenerů v dentálních aplikacích, což se jeví jako velmi efektivní způsob, který by se dal využít v kriminalistice při digitálním porovnáním otisku zubů na těle oběti s 3D skenem chrupu pachatele. Nejprve by se udělal otisk zubů do sádry, čímž by se získala forma pro vytvoření odlitku a dále následné naskenování 3D optickým skenerem. Získaná polygonální síť se nahraje do speciálního softwaru, kde se do volného mezizubního prostoru vymodeluje požadovaný implantát, který je pak vyroben klasickým NC obráběním. Vytváření otisku a odlitku je časově náročné a pro klienta ne moc příjemné. V budoucnu by se dala používat technologie 3D tisku, která pracuje s titanovým práškem a za pomoci laseru dokáže sestavit 3D fyzický model [29].

Pro dentální aplikace lze využít např. skener Itero Element, který je určen k zachycení 20 skenů za sekundu a při špičkovém zobrazování umožňuje prohlížení obrázků ve 3D, kde snadná vizualizace zlepšuje viditelnost chrupu[28].



Obrázek 41. Skener Itero Element pro dentální aplikaci [28]

Skenování a ukládání dat se provádí na pevný disk systému každé dvě sekundy. Není potřeba záložní baterie. I v případě výpadku proudu jsou naskenovaná data v bezpečí, takže nehrozí ztráta naskenovaných dat.

Skenery pracují na principu optického skenování s velmi krátkou měřicí vzdáleností, kde stačí skener umístit do ústní dutiny a postupným natáčením dojde k proskenování požadované oblasti [28].

2.1.4 Plastická chirurgie

Významný pokrok se dá zaznamenat v oblasti biometriky, digitálního skenování obličejů pro analýzu a identifikaci osob. Plastická chirurgie dnes umožňuje případy, kdy na jeden pas cestovalo více osob, ale v budoucnu by se díky digitálnímu skenování obličejů zamezilo takovému cestování. Dokázalo by se tyto osoby identifikovat, protože by nevyhovovaly 3D skenu, který by byl stejné osobě udělán již dříve [25].

Plastická chirurgie nabízí další možnosti využití např. při operacích, kdy je použit 3D skener si může klient virtuálně prohlédnout výsledky dříve, než se vůbec začne s operací. Klient může lékaři vizuálně ukázat, jaké změny požaduje, a lékař pak má možnost ukázat svá doporučení. Zmenší se tak případné nedorozumění, kdyby byla představa klienta rozdílná od skutečnosti. Nejdříve se musí naskenovat stávající stav obličeje, hrudníku nebo jiné části těla a po získání polygonálních dat je načíst do speciálního softwaru, kde chirurg virtuálně upraví danou oblast a na základě tohoto postupu se naplánuje operace a může se provést vlastní zákrok.

Další varianta je, že při nehodě nebo nemoci může dojít k poškození či amputaci některé párové části těla např. noha, prsty, ruka, pak lze pomocí 3D skeneru provést naskenování nepoškozené části těla. Následně po ozrcadlení a softwarových úpravách naskenovaných dat se dá vyrobit protéza, která bude tvarově přirozená k pacientovu tělu [29].

2.1.5 Kopírování výrobku

Pokud nemáme od výrobku, který nás zajímá k dispozici CAD data nebo výkres, můžeme tento výrobek naskenovat k získání 3D dat, která následně mohou posloužit k výrobě duplicitního výrobku, který se již nevyrábí a naskenováním těchto náhradních dílů (např. pro starší modely automobilů) by sloužilo k bezpečnosti výrobků. Důvodem může být také situace, kdy výrobce informace o výrobku nechce poskytnout nebo si za ně žádá zaplacení příliš vysoké částky [29].

Dílčí závěr

Tato kapitola se zabývala popisem 3D laserového skenování, které se v posledních 20 letech stalo rychle se rozvíjející technologií bezkontaktního sběru prostorových souřadnic při dokumentaci výrobků nebo objektů, kdy se razantně zvýšila přesnost a rychlost měření. Existuje celá řada oblastí, kde technologie 3D skenování umožňuje poskytovat měření s vysokou přesností, maximalizuje efektivitu práce a zlepšuje procesy při výrobě. Mezi

oblasti, ve kterých laserové skenování dosahuje značného vzestupu, se dá zařadit využití ve forenzních vědách a kriminalistice. Tato oblast laserového skenování slouží k provedení podrobné studie místa činu a následné analýze, která by mohla pomoci zajistit autentickou rekonstrukci zločinu. V kapitole je také popsáno několik druhů laserových skenerů, které mají své využití v různých odvětvích.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

3 ZÁKLADNÍ TECHNICKÉ POŽADAVKY NA MĚŘÍCÍ ZAŘÍZENÍ

Zadavatel – společnost působící v oblasti zkušebnictví a testování, která se zabývá zkoušením prakticky všech typů pneumatik pro silniční i mimosilniční vozidla a malá civilní letadla si stanovila základní technické požadavky na měřicí zařízení pro snímání zatížené kontury pneumatiky, které jsou nezbytné pro samotný návrh řešení.

Tyto základní technické požadavky stanovené zadavatelem na měřicí zařízení je možné klasifikovat do následujících skupin:

- bezpečnost,
- pořizovací náklady,
- bezkontaktnost snímání,
- uzpůsobení konstrukce pro geometrii měřicího pracoviště,
- měření ve vodorovné i svislé poloze,
- parametry snímání.

Měřicí zařízení se pro daný způsob užívání v přiměřené cenové relaci nenabízí a je tedy nutno použít řešení prostřednictvím speciální zakázky. Řešení poskytnuté externím dodavatelem nevyhovělo výše uvedenému seznamu požadavků.

3.1 Bezpečnost

Bezpečnost práce s měřicím zařízením, které by mělo být nainstalováno poblíž zkušebního stroje nebo nejlépe přímo na něm je nejvyšší prioritou pro zadavatele. Nejdůležitějším kritériem pro obsluhu měřicího zařízení je tak jeho bezpečnost a eliminace možného nebezpečí ohrožení zdraví (sluchu) související s právě probíhající zkouškou na jiném zkušebním stroji. Obsluha měřicího zařízení musí používat sluchátka nebo ochranné špunty do uší a předcházet tak možnému riziku nebezpečí ohrožení sluchu. Dále při montáži diskových kol s pneumatikami na zkušební stroj se doporučuje používat ochranné pracovní rukavice. Zkušební stroje může obsluhovat pouze kvalifikovaná obsluha, která se řídí všeobecnými bezpečnostními předpisy, návodem k obsluze a zvláštními předpisy pro zkušební stroj pneumatik. Obsluha by měla poznat blížící se nebezpečí, které při zkouškách může nastat jako např. destrukce pláště. Zkušební stroj je opatřen bezpečnostními prvky, které byly popsány v teoretické části. Tyto bezpečnostní prvky slouží pro ochranu obsluhy a majetku Laboratorní zkušebny pneumatik. Elektromagnetický

bezpečnostní zámek s jištěním na ochranné kleci stroje slouží pro uzamčení prostoru v době zkoušky a není tak možné, aby se obsluha dostala do blízkosti rotující pneumatiky. Klec zkušebního stroje je ještě zajištěna proti otevření dalším bezpečnostním prvkem, což je mechanickým koncový spínač. Tento spínač lépe zajišťuje, že bezpečnostní klec stroje je řádně uzavřená. Čidlo separace je další bezpečnostní prvek, který je složen z tykadla (dřevěná tyčka), které je umístěno těsně nad pneumatikou a mechanického koncového spínače. Čidlo separace je zařízení sloužící k přerušení zkoušky, změní-li se tvar pneumatiky (separace) a včas tak zabrání např. vznícení pneumatiky.

3.1.1 Pokyny pro bezpečnost práce na stroji

Tyto pokyny upozorňují na možná nebezpečí, není-li zkušební stroj pneumatik používán v souladu se všemi bezpečnostními předpisy a postupy a nejsou dodržována všechna upozornění, týkající se bezpečnosti práce a ochrany zdraví, která mohou být příčinou vážného úrazu nebo smrti osob, poškození nebo zničení stroje nebo některé jeho části, a to vzhledem k následujícím okolnostem:

- rotující pneumatika,
- rotující buben,
- vysoký tlak v pneumatice a pneumatických obvodech,
- vysoký tlak v hydraulických obvodech,
- životu nebezpečné elektrické napětí.

3.2 Pořizovací náklady

Zadavatel kladl zvlášť důrazný požadavek na pořizovací náklady měřícího zařízení, které by neměly přesáhnout stanovený rozpočet. Cena měřícího zařízení by měla být úměrná cenám prováděných zkoušek.

3.3 Bezkontaktnost snímání

Pro návrh bezkontaktního snímání se nabízí několik možností, jak správně vybrat vhodnou alternativu pro měřící zařízení a aplikovat ji:

- pomocí laserového skeneru, který by s velkou přesností nasnímal výrobek v jakékoliv poloze. Kdyby se jednalo o **měřící 3D skener**, tak ten by díky promítání laserových křížů naskenoval výrobek, na kterém by se dopadající svazky

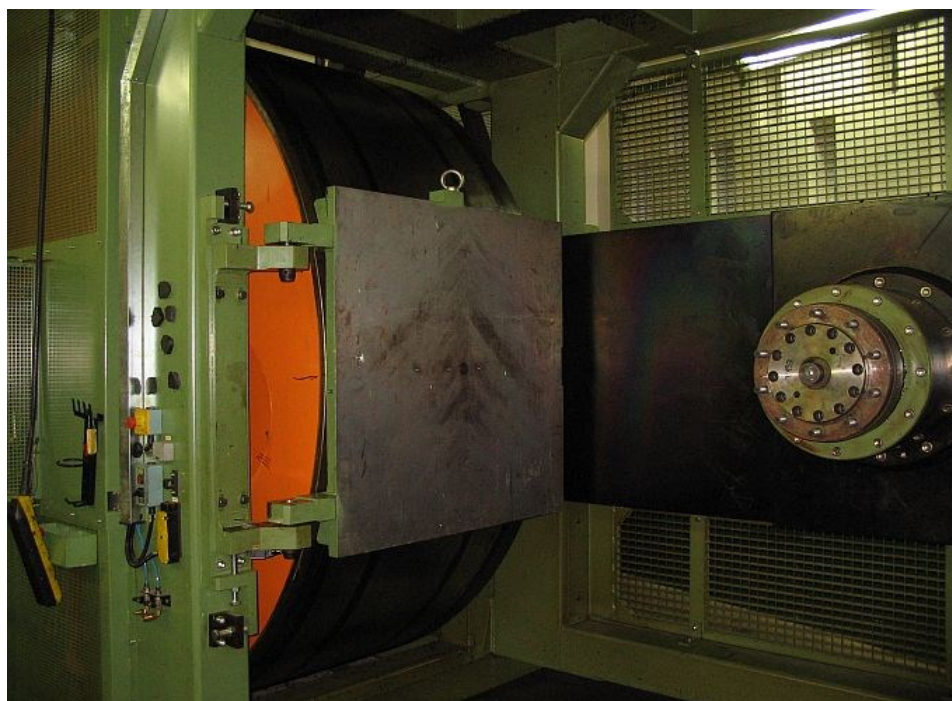
deformovaly podle křivosti povrchu výrobku, ale nevýhodou by byla jeho orientace v prostoru. Na výrobek by se musely nalepit reflexní značky (markery). Laserový skener by zachytil téměř jakýkoliv typ povrchu v celé řadě prostředí, kdy dosah se pohybuje od 0,5 m do 3 m a poskytuje tak velký prostor pro úplnou digitalizaci, což by v prostoru kolem stroje bylo ideální. Skener by, ale nevyhovoval požadavkům parametrů snímání. Další variantou je provádět měření s CMM přenosným souřadnicovým měřicím přístrojem, který umožňuje s metrologickou přesností změřit ve 3D kvalitně výrobek. Měřicí rameno by bylo upnuto 90 mm základnou na kovovou část zkušebního stroje, kterou lze pro měření připojit magnetem, vakuovou přísavkou nebo uhlíkovým stativem. Měřicím rameno by poskytovalo neomezenou rotaci kloubů v sedmikloubovém provedení s odnímatelnou rukojetí, která by se využívala ve spolupráci s bezdrátovým laserovým liniovým skenerem,

- pomocí indukčního snímače se dají bezkontaktně měřit elektricky vodivé předměty na vzdálenosti až desítek mm. Jejich hlavní výhodou je možnost bezchybně dlouhodobě pracovat v prašném nebo jinak znečištěném průmyslovém prostředí. Indukční snímač by se dal použít pro měření radiální vzdálenosti na měřicím zařízení, ale je nevhodný pro měření výrobků např. z pryže nebo umělé hmoty. Lepší využití se nabízí pro bezdotykové koncové spínače na strojích,
- pomocí dvou laserových snímačů se nabízí možnost 2D měření, kdy jeden laser proměřuje v ose x tvar povrchu výrobku a měří tak jeho průhyby nebo zaoblení a druhý laser odměřuje radiální vzdálenost v ose y. Výhoda této metody spočívá v měření vzdálenosti velmi lesklých, transparentních nebo naopak matně černých sametových povrchů. Laserové snímače měří jak s bodovým paprskem pro měření kvalitních povrchů, tak s linkovým paprskem pro měření hrubých strukturovaných povrchů. Zde se nabízí dražší varianta řešení, ale s lepší přesností měření.
- pomocí laserového a ultrazvukového snímače se nabízí podobná možnost 2D měření, jako předchozí metoda a v podstatně levnějším provedení, ale s horší přesností. Tato horší přesnost se ale vykompenzuje tím, že laserový snímač s rostoucí vzdáleností ztrácí na přesnosti. Zde dochází k situaci, kdy ultrazvukový snímač potřebuje svou odraznou plochu, která musí být někde na měřicím zařízení namontována. Odrazná plocha musí mít minimální rozměr **80 mm x 80 mm** a měřicí zařízení by tak mohlo být omezeno při jeho konstrukci.

3.4 Uzpůsobení konstrukce pro geometrii měřícího pracoviště

Zadavatel požaduje uzpůsobit konstrukci měřícího zařízení podmínkám měření. Měřící pracoviště je omezeno pracovní plochou, kde má měřící zařízení správně a bezchybně měřit. Jak je vidět z (Obrázku 42.), tak se nabízí možnost využití opěrné desky, která je součástí zkušební bubnového stroje. Opěrná deska slouží pro měření vybraných statických vlastností pneumatik. Na stroj je instalována mezi buben a zkoušenou pneumatiku ve speciálním držáku. Její přítomnost je signalizována spínačem, který automaticky zablokuje pohon bubnu a nezávisle na poloze vozíku zabrzdí otočnou hlavu. Údaj o poloze vozíku vzhledem k bubnu je automaticky korigován o tloušťku desky. Na desku je možno nasadit příčně stavitelný držák trnu pro zkoušku odolnosti pneumatiky proti průrazu.

Měřící zařízení bude závislé na kabelovém připojení konektorů využívaném na zkušebním stroji. Tyto kabely jsou připojeny do rozváděče na stroji, odkud posílají přes A/D převodník naměřená výstupní data do řídicího počítače. Z těchto požadavků na uzpůsobení konstrukce vychází předpoklad, že měřící zařízení se asi nebude vyrábět pro tyto účely sériově, ale bude muset být navrženo na míru pro potřeby zkušební laboratoře.



Obrázek 42. Zkušební jednopoziční bubnový stroj s namontovanou opěrnou deskou [vlastní zdroj]

3.4.1 Popis zkušebního stroje

Univerzální jednomístný bubnový zkušební stroj je určen pro statické a dynamické zkoušky zejména mimosilničních pneumatik a diskových kol, při kterých se zjišťují jejich charakteristické vlastnosti a odolnost jednotlivých částí proti únavovému poškození, způsobenému namáháním pneumatiky při odvalování kola po ocelovém poháněném bubnu za definovaných podmínek přítlaku pneumatiky, tlaku huštění, rychlosti odvalování a teploty.

Nosná konstrukce stroje je tvořena čtyřmi samostatnými rámy, které jsou vzájemně spojeny šrouby. Rámy jsou svařované konstrukce ze silnostěnných uzavřených profilů a plechů. Na nosné konstrukci je uložena hřídel s bubnem, pohonný motor bubnu a přítlačný mechanismus pneumatiky s hlavou kola. Stroj je opatřen ochrannou uzavíratelnou klecí, která je součástí nosné konstrukce stroje. Klec chrání obsluhu při provozu stroje před možným zásahem utrženými částmi rotující pneumatiky. Pokud nejsou dveře klece řádně uzavřeny, nelze stroj spustit.

Na vnější straně klece jsou umístěna tlačítka **Nouzový stop** pro rychlé zastavení bubnu a současně odlehčení přítlačného mechanismu. Druhé tlačítko se stejnou funkcí je na dveřích hlavního rozváděče.

Pro nouzové vypnutí celého stroje slouží tlačítko **Total stop**, umístěné na dveřích hlavního rozváděče a u pultu obsluhy zkušebny. Při jejich použití dojde k vypnutí hlavního jističe (buben se otáčí setrvačností až do zastavení). Zapnutí hlavního jističe s dálkovým ovládním z místa obsluhy je blokováno klíčkem.

Zkušební stroj je proveden tak, aby elektromagnetické rušení, které způsobuje, nepřesáhlo úroveň přípustnou nebo stanovenou pro radiokomunikační, telekomunikační či jiné přístroje a aby přístroje měly odpovídající odolnost vůči elektromagnetickému rušení, která mu umožňuje provoz v souladu s jeho určením.

3.4.1.1 Pohon bubnu

Buben je poháněn přes převod klínovými řemeny stejnosměrným motorem s velkým krouticím momentem, který zajišťuje dostatečnou dynamiku změn obvodové rychlosti bubnu. Motor je napájen měničem, pracujícím v uzavřené regulační smyčce s rotačním snímačem otáček, zabudovaným přímo v ose bubnu. Obvodová rychlost bubnu je takto řízena s vysokou přesností v širokém rozsahu, nezávisle na změnách zatížení a huštění

(valivého odporu) zkoušeného kola. Na čelní straně bubnu je indukční snímač počtu otáček, který slouží pro přesné měření ujeté dráhy zkoušeného kola.

3.4.1.2 *Hydraulický zatěžovací systém*

Zkoušené kolo je přitlačeno k povrchu bubnu nebo opěrné desky hydraulickým válcem, působícím na zadní stranu vozíku s upínací hlavou.

Uvnitř pístnice hydraulického válce je zabudován snímač polohy pístu, který je využíván pro měření statického a dynamického poloměru pneumatiky. Zdroj tlakového oleje tvoří hydraulický agregát s elektromotorem a hydrogenerátorem, pojistným ventilem, nezávislým okruhem s oběhovým čerpadlem, filtrem, vzduchovým chladičem a spínaným ventilátorem, spínačem hladiny oleje, tlakovým spínačem, dvěma kontrolními tlakoměry, teplotním spínačem, elektrickým kontrolním teploměrem, akumulátorem a elektrohydraulickými prvky pro proporcionální regulaci přitlačné síly.

Směr pohybu vozíku k bubnu nebo od bubnu je ovládán prostřednictvím řídicí jednotky proporcionálního elektromagnetického ventilu. Spolehlivé zastavení pohybu pístu v libovolné poloze zajišťuje předřazený elektromagnetický přímočarý ventil. Rychlost pohybu vozíku směrem k bubnu je dána nastavením velikosti žádané hodnoty otevření proporcionálního ventilu. Rychlost pohybu od bubnu je zvýšena obtokovým ventilem, který využívá maximálního průtoku čerpadla pro rychlý pohyb pístu vzad.

Velikost přitlačné síly kola je měřena přesným tenzometrickým snímačem, upevněným mezi vozíkem a pístnicí hydraulického válce. Hodnota síly je závislá na tlaku oleje, přiváděného do válce. Hlavním řídicím prvkem je proporcionální elektromagnetický ventil, který reguluje pracovní tlak hydraulického oleje v závislosti na výstupním signálu elektronického regulátoru.

3.4.1.3 *Upínací hlava kol*

Zkoušená kola se upínají na přední volný konec hřídele upínací hlavy přes vyměnitelné příruby s normalizovanými rozměry upínacích šroubů. Zadní konec hřídele je vybaven kotoučovou brzdou s elektro-pneumatickým ovládním, která zajišťuje spolehlivé zastavení kola ve výchozí poloze vozíku. V této poloze a během statických zkoušek, kdy je používána opěrná deska, je možno hlavu odbrzdit pouze po dobu stisku tlačítka na rámu stroje. Součástí brzdy je indukční snímač pro měření počtu otáček zkoušeného kola.

3.4.1.4 Hlídaní poloh, signalizace

Minimální vzdálenost ráfku od povrchu bubnu je hlídána přestavitelným bezpečnostním spínačem, který zajistí automatický odjezd vozíku s pneumatikou do výchozí polohy, vypnutí čerpadla hydrauliky a současně spuštění akustické a optické signalizace.

Pro zastavení zkoušky v případě separace běhounu nebo bočnice pneumatiky slouží polohově a tvarově stavitelné čidlo separace. Při jeho správném nastavení je možno ve většině případů zachytit počátek její destrukce. Rovněž v tomto případě pneumatika odjede do výchozí polohy a je spuštěna optická a akustická signalizace pro přivolání obsluhy. K odjezdu pneumatiky do výchozí polohy dojde rovněž při překročení její povrchové teploty.

3.4.1.5 Popis řídicího systému

Ovládání všech funkcí stroje je plně pod kontrolou řídicího systému, postaveného na bázi PLC Simatic S 300 a PC typu IBM-ATX s externě připojeným barevným monitorem LCD 17", standardní klávesnicí a myší. Počítač je vybaven síťovými prostředky pro komunikaci se serverem pomocí kabelu UTP (nestíněná kroucená dvojlinka) a je napájen ze zálohovaného zdroje UPS s kapacitou překlenutí výpadků proudu do 30 min.

3.4.1.6 Elektrické provedení stroje

Elektrické zapojení stroje za rozváděčem je provedeno v soustavě 3 NPE 50 Hz, 230/400 V, TNS. Ochrana proti nebezpečnému dotyku provedena propojením neživých částí s nulovým potenciálem. Všechny elektrické prvky, umístěné na stroji s výjimkou motorů jsou připojeny na bezpečné stejnosměrné napětí 24 V DC.

3.4.1.7 Ovládání stroje

Veškeré povely, jak k jednoduchým pohybům, tak i k provedení celé zkoušky v ručním nebo automatickém režimu včetně záznamu, zadává obsluha prostřednictvím klávesnice a myši. Na obrazovce připojeného monitoru jsou neustále zobrazovány všechny aktuální stavy stroje a skutečné hodnoty žádaných a měřených veličin včetně odchylek z mezních tolerancí, jakož i případné poruchy.

Ovládané veličiny, tj. rychlost bubnu, zatížení kol a huštění pneumatik je možno řídit buď v ručním režimu průběžným zadáváním žádaných hodnot jednotlivých veličin, nebo v plně

automatickém režimu zavedením předem ručně nebo automaticky vygenerovaného souboru (metodiky) žádaných hodnot (kroků) s předepsanou dobou trvání.

V obou režimech je zkouška automaticky přerušena (nikoliv ukončena) při výskytu separace, minimálního přiblížení, překročení nastavené povrchové teploty, uplynutí nastaveného času kroku resp. zkoušky, dosažení předvoleného počtu cyklů nebo ujeté dráhy a samozřejmě při operativním požadavku obsluhy.

Zkoušku ukončí obsluha na základě analýzy přerušení testu.

Historie skutečného průběhu každé zkoušky je zaznamenána ve formě souboru zadaného jména na disku počítače a připojeného serveru. Struktura souboru je volitelná, její změnu však může provést pouze pověřený pracovník (heslo). Ke každé veličině je možno pro jednotlivé časové kroky zvolit záznam žádané hodnoty, průměrné měřené hodnoty a její směrodatné odchylky. Programové vybavení umožňuje jednoduše převést tento soubor do univerzálního textového formátu, který je možno dále zpracovávat v prostředí programu MS Office.

Po výpadku elektrické energie nebo po nouzovém zastavení stroje umožní řídicí počítač obsluze pokračovat v přerušené zkoušce i monitorování všech veličin včetně záznamu času prostoje.

3.5 Měření ve vodorovné i svislé poloze

Další požadavkem zadavatele je, aby měřicí zařízení měřilo výrobky (pneumatiky) ve vodorovné i svislé poloze, vzhledem k možnosti používat měřicí zařízení k měření na několika zkušebních strojích. To klade zvýšené požadavky na řešení upínacího mechanismu. Pokud by se měřicí zařízení nějakým způsobem dalo uchytit na opěrnou desku nebo rám stroje, tak by muselo splňovat kolmosti na sebe jdoucích ploch, protože bez nich by docházelo k velikým chybám při měření. Pro měření ve vodorovné i svislé poloze musí být měřicí zařízení uchyceno ve středu osy výrobků (pneumatik).

3.6 Parametry snímání

Měřicí zařízení by mělo být schopno měřit výrobky s přesností do 0,8 mm. Rozsah měření by měl pokrývat v ose x **500 mm** a v ose y rozsah **800 mm**. Měřicí zařízení by mělo být jednoduché na obsluhu s dobou snímání do dvou minut, jinak by zařízení bylo málo efektivní pro daný účel měření.

Dílčí závěr

Ve třetí kapitole byly popsány požadavky na měřicí zařízení, které si stanovil zadavatel. Všechny požadavky hrají důležitou roli pro návrh samotného měřicího zařízení, ale nejvyšší prioritou je bezpečnost obsluhy, která bude samotné měření provádět. Dále se kapitola zabývala popisem zkušebního stroje, na kterém se budou výrobky měřit. Mechanické řešení stroje určuje možné konstrukční řešení měřicího zařízení a to jak pro měření ve vodorovné tak i ve svislé poloze. Řídicí systém zkušebního stroje nabízí možnosti vstupu standardních signálů, což umožňuje volbu konkrétního provedení snímačů pro měření délek.

4 NÁVRH KOMPLEXNÍHO BEZKONTAKTNÍHO MĚŘÍCIHO ZAŘÍZENÍ

Cílem následující kapitoly je prezentace vlastního návrhu bezkontaktního měřícího zařízení, který bude použitelný pro širokou oblast 2D měření. V tomto případě je konstrukce měřícího zařízení uzpůsobena pro měření výrobků, kdy se bude proměřovat a vykreslovat tvar bočnice a běhounový profil pláště pneumatiky. Snímání profilu pláště pneumatiky bude vedeno v její ose středu a v jednom řezu pláště.

Stávající mechanické kontaktní snímací zařízení, kterým se vykresloval profil pláště pneumatiky, je robustní, takže měření ve stísněných podmínkách bylo velmi složité a v některých případech i nemožné. Mechanické kontaktní zařízení měřilo pomocí posuvných ramen, kde na jejich konci byl upevněn měřící ocelový hrot, který vykazoval značné nepřesnosti při měření profilu výrobků, které byly z pryže. Tyto nepřesnosti dosahovaly hraniční tolerance od **1 mm** do **4 mm**. Další velká nevýhoda mechanického zařízení, spočívala ve zdlouhavém procesu zpracování, kdy vykreslená kontura na papíře se musela nejprve naskenovat a dále výpočetní technikou zpracovat do konečné formy protokolu.

Z požadavku na pořizovací náklady měřícího zařízení vyplývá, že není možné zakoupit měřící zařízení (3D laserový skener), kde cena se pohybuje v řádech statisíců korun.

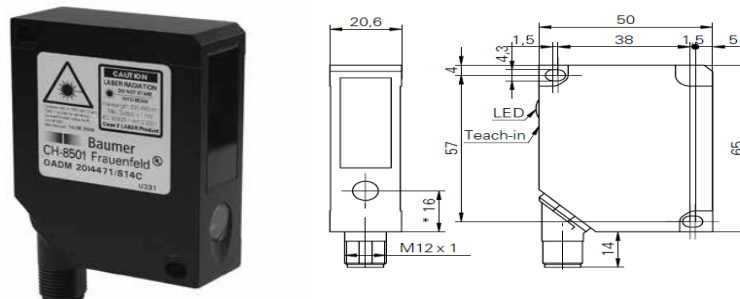
4.1 Navržené snímače pro měřící zařízení

Na základě dobrých zkušeností zadavatele se snímači od firmy Baumer electric, byla zvolena metoda měření laserovým a ultrazvukovým snímačem. Metoda nabízí možnost jen 2D měření. Pro měřící zařízení byly vybrány z široké nabídky firmy Baumer electric snímače, které vyhovují požadavkům na rozsah a přesnost snímání.

4.1.1 Laserový snímač vzdálenosti Baumer OADM 20I2480/S14C

Laserový snímač vzdálenosti má měřící rozsah **100 mm** až **600 mm** s rozlišením **0,015÷0,67 mm** a tvarem obdelníkového pouzdra z litého zinku, kdy přední optika je ze safírového skla. Laser má zajištěnou ochranu proti zkratu a přepólování. Laser disponuje svazkem o průměru 2 mm a třídou 2 o vlnové délce 650 nm. Zdrojem světla je pulsující červená laserová dioda. Doba odezvy snímače je okolo 0,9 ms a závisí na odrazivosti měřeného objektu. Výstupní signál je proudový 4 - 20 mA a chyba linearity se pohybuje \pm

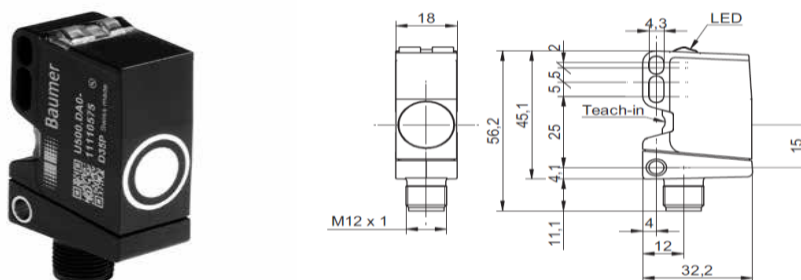
0,05 až ± 2 mm. Laser splňuje stupeň krytí IP67, je kompletně odolný vůči vniknutí prachu a zároveň je chráněn proti vniknutí vody až do hloubky jednoho metru po dobu 30 minut [7].



Obrázek 43. Laserový snímač vzdálenosti Baumer OADM 20I2480/S14C a jeho rozměry [7]

4.1.2 Ultrazvukový snímač Baumer U500.DA0

Ultrazvukový snímač vzdálenosti pracuje s měřicím rozsahem **100 mm až 1000 mm** a s rozlišením **0,3 mm**. Snímač má tvar obdelníkového pouzdra, které je vyrobeno z plastu. Snímání ultrazvukem je možné pouze v detekční oblasti, kde požadovaný rozsah snímání je možné nastavit pomocí potenciometru snímače nebo elektronickou funkcí tlačítka Teach-in. Pokud je výrobek detekován ve stanoveném prostoru, tak výstup snímače změní svůj stav, který je zviditelněn integrovaným LED světlem. Ultrazvuk má zajištěnou ochranu proti zkratu a přepólování. Pracuje v prostředí, kde provozní teploty se mohou pohybovat od -25 °C do 65 °C. Zvukové vlny ultrazvuku závisí na odrazivosti měřeného výrobku, kde se nejlépe odráží od tvrdých povrchů. Výstupní signál je buď proudový 4 - 20 mA nebo napěťový 0 – 10 V. Ultrazvukový snímač splňuje stupeň krytí IP67, je kompletně odolný vůči vniknutí prachu a zároveň je chráněn proti vniknutí vody až do hloubky jednoho metru po dobu 30 minut [7].



Obrázek 44. Ultrazvukový snímač Baumer U500.DA0 a jeho rozměry [7]

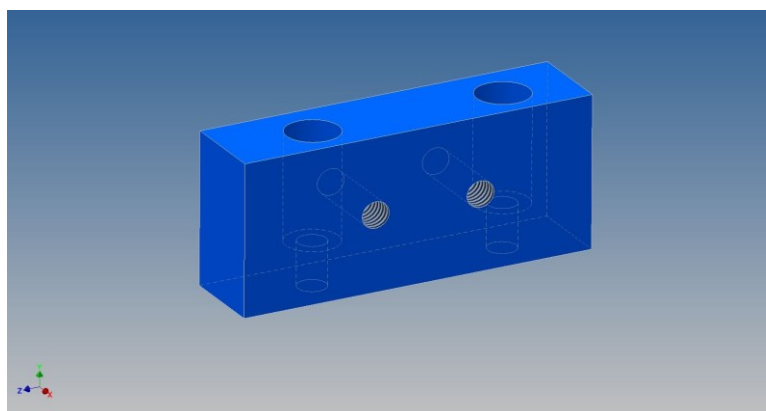
4.2 Lineární vedení

Pro přesnost a spolehlivost pohybu laserového snímače a odrazné plochy pro ultrazvukový snímač bylo vybráno lineární vedení od firmy HIWIN. Lineární vedení obsahuje kolejnici s typovým označením WER17R-0080 a vozíček široký WEH 17CA Z0H. Profilové kolejnicové vedení typu WE je složeno ze čtyř oběžných kuličkových drah. Výhodou lineárního vedení jsou malé pasivní odpory, malá zástavbová výška **17 mm** a velká šířka **50 mm**. Toto provedení je schopno zachytit i vyšší momentové zatížení vozíku. Kolejnice má dvě řady přípojovacích otvorů pro šrouby, jimiž je kolejnice upevněna k nosnému profilu. Díky optimalizaci oběžných drah je vozík schopen přenášet síly ve všech směrech. Jako mazivo pro lineární vedení se používají oleje nebo tuky. Lineární vedení má ochranu proti korozi a základní mazání připravené k montáži. Nesmí se pro mazání používat maziva MoS2 nebo grafit [30].



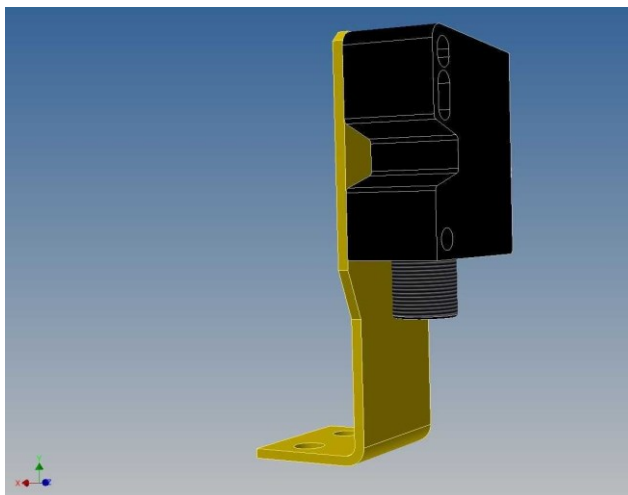
Obrázek 45. Kolejnice WER17R s vozíčkem širokým WEH 17CA Z0H [30]

Jako nosič laserového snímače byl navržen dílec upevněný k vozíčku šrouby M4.



Obrázek 46. Nosič laserového snímače [vlastní zdroj]

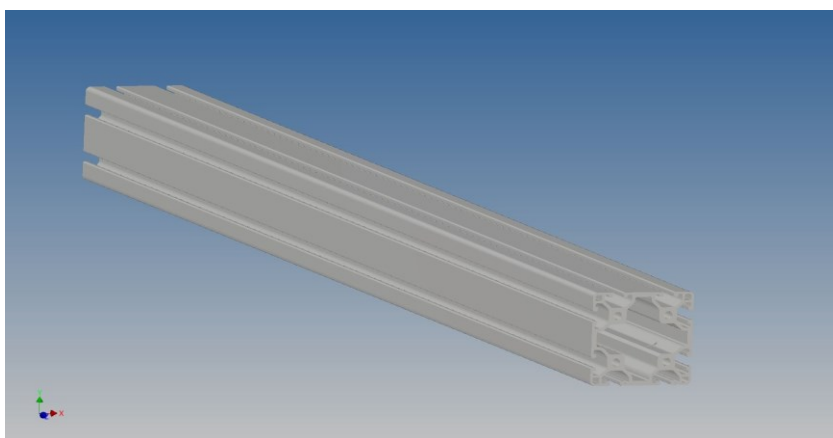
Držák ultrazvukového snímače bude spojen s nosným profilem pomocí drážkových matic. Je řešen spolu s návrhem umístěním odrazné desky a upraven s ohledem na provedení konektoru.



Obrázek 47. Držák ultrazvukového snímače [vlastní zdroj]

4.3 Nosný profil

Samotná kolejnice lineárního vedení nemá dostatečnou tuhost pro zvolené řešení, proto bylo nutno použít vhodný nosník. Byl vybrán profil **60 mm x 60 mm** délka **900 mm** z nabídky firmy Haberkorn Ulmer s.r.o. Při volbě průřezu byla určující šířka vozíku lineárního vedení. Vozík a vybavení na něm nesmí přesahovat šířku profilu, aby nedošlo ke kolizi s opěrnou deskou.



Obrázek 48. Nosný profil 60x60 [vlastní zdroj]

Montáž prvků na nosný profil se provádí pomocí drážkových matic, které se používají v kombinaci se spojovacím materiálem, kde díky svému průřezu jsou přizpůsobeny tvaru drážky. Matice se mohou vložit nakloněním do drážky nosného profilu v libovolném místě

a odpadá tak nutnost vrtání děr a řezání závitů. Matice dovolují vyšší utahovací moment šroubových spojů [31].

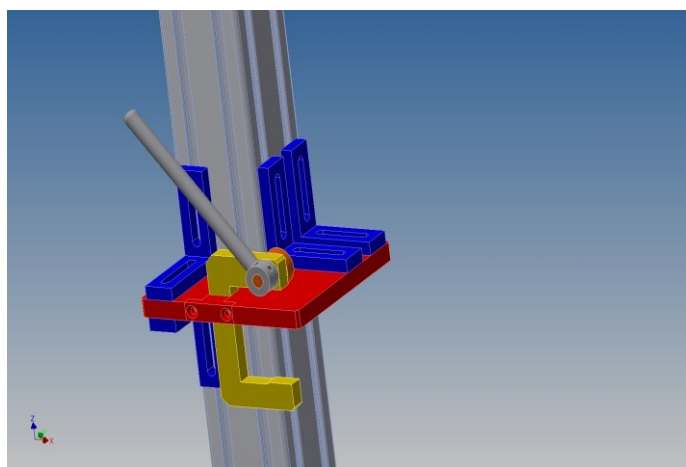


Obrázek 49. Drážková matice v nosném profilu [31]

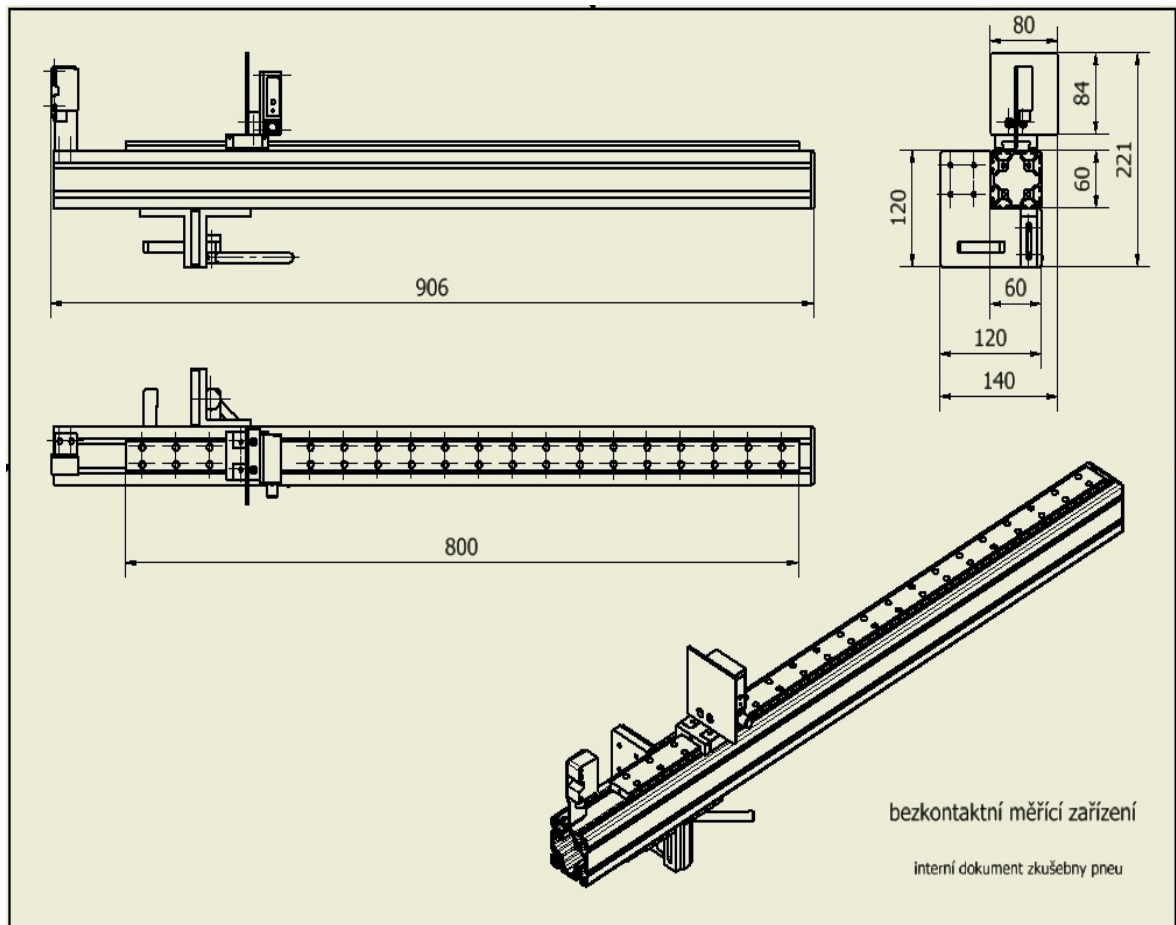
4.4 Upnutí měřicího zařízení

Z požadavku uzpůsobení konstrukce pro geometrii měřicího pracoviště se nabízela možnost využití opěrné desky, která je součástí zkušebního bubnového stroje. Měřicí zařízení bude upevněno na opěrnou desku zkušebního stroje jednoduchým a rychlým způsobem, který zaručí kolmost mezi opěrnou deskou a nosným profilem.

Bylo zvoleno řešení s třmenem a upínacím excentrem. K nosnému profilu byla pomocí čtyř úhelníků **60 mm x 60 mm x 20 mm** a šroubů pevně připevněna ocelová destička. Po přiložení měřicího zařízení k opěrné desce dosedne ocelová destička na plochu opěrné desky a pomocí třmenu s excentrem bude zafixována (Obrázek 62.). Umístění měřicího zařízení do roviny osy bude definováno čepem na opěrné desce a otvorem v nosném profilu. Profil se bude nasazovat otvorem na čep.



Obrázek 50. Nosný profil s ocelovou destičkou, třmenem a excentrem [vlastní zdroj]



Obrázek 51. Výkres bezkontaktního měřícího zařízení [vlastní zdroj]

4.5 Cenová kalkulace měřícího zařízení

Návrh měřícího zařízení obsahuje několik komponent, ze kterých je systém na měření výrobků sestaven. Na základě těchto podkladů je možno sestavit předpokládané finanční náklady na pořízení tohoto systému.

Tabulka 4. Položkový rozpočet měřicího zařízení [vlastní zdroj]

Název položky	MJ	Počet kusů	Cena/MJ	Celková cena
Laserový snímač OADM 20I2480/S14C	ks	1	22000 Kč	22000 Kč
Ultrazvukový snímač Baumer U500	ks	1	6800 Kč	6800 Kč
Lineární vedení WE 800 mm	ks	1	4700 Kč	4700 Kč
Nosný profil	ks	1	1000 Kč	1000 Kč
Doplňky na nosný profil	ks	8	80 Kč	640 Kč
Výroba třmenu a upínacího excentru	ks	1	2000 Kč	2000 Kč
Výroba držáků pro laser a ultrazvuk	ks	2	300 Kč	600 Kč
Kabel pro laserový snímač 5 m	ks	1	750 Kč	750 Kč
Kabel pro ultrazvukový snímač 5 m	ks	1	750 Kč	750 Kč
Zástrčky M12 s 8 piny	ks	2	650 Kč	1300 Kč
Celková cena bez DPH:				40540 Kč
Celková cena včetně 21 % DPH				49050 Kč

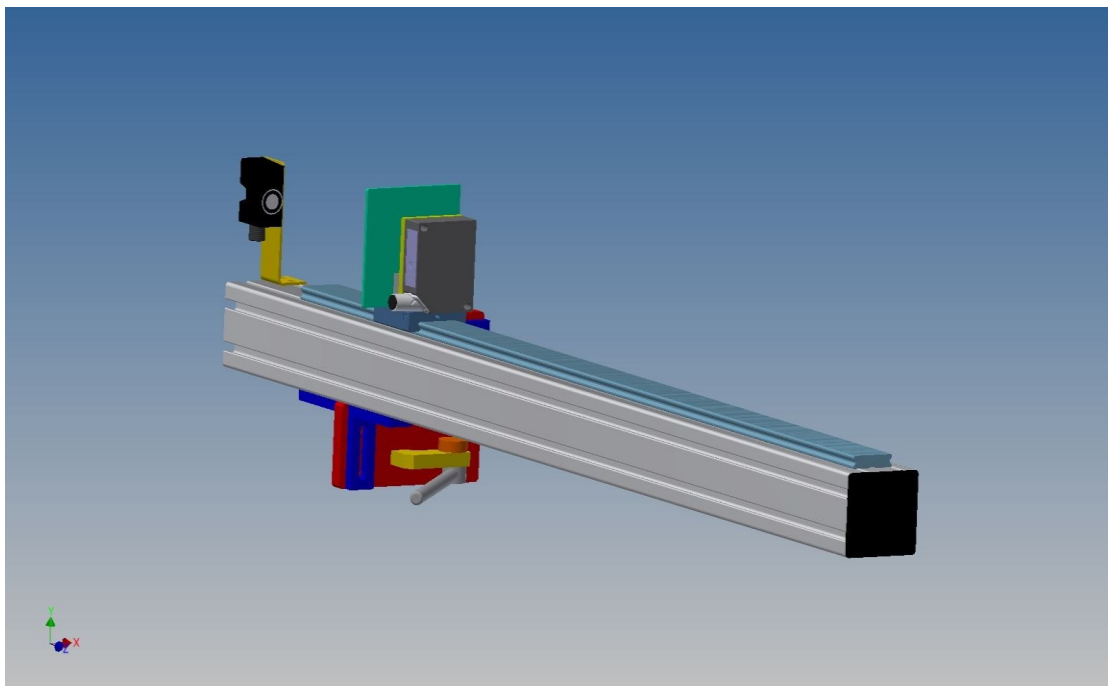
Finanční náklady na pořízení měřicího zařízení v navrženém rozsahu jsou velmi výhodné v porovnání s nabídkou od externí firmy, kdy tato částka by převyšovala hodnotu statisíců korun. Zvolená metoda laserového a ultrazvukového snímače, která je popsána výše v požadavcích na zařízení, nese sebou i další výhody v ceně. Díky této metodě bylo ušetřeno bezmála **60000 Kč**, protože laserový snímač s **1000 mm** rozsahem, který by snímal radiální vzdálenost, takovou cenu má.

Dílčí závěr

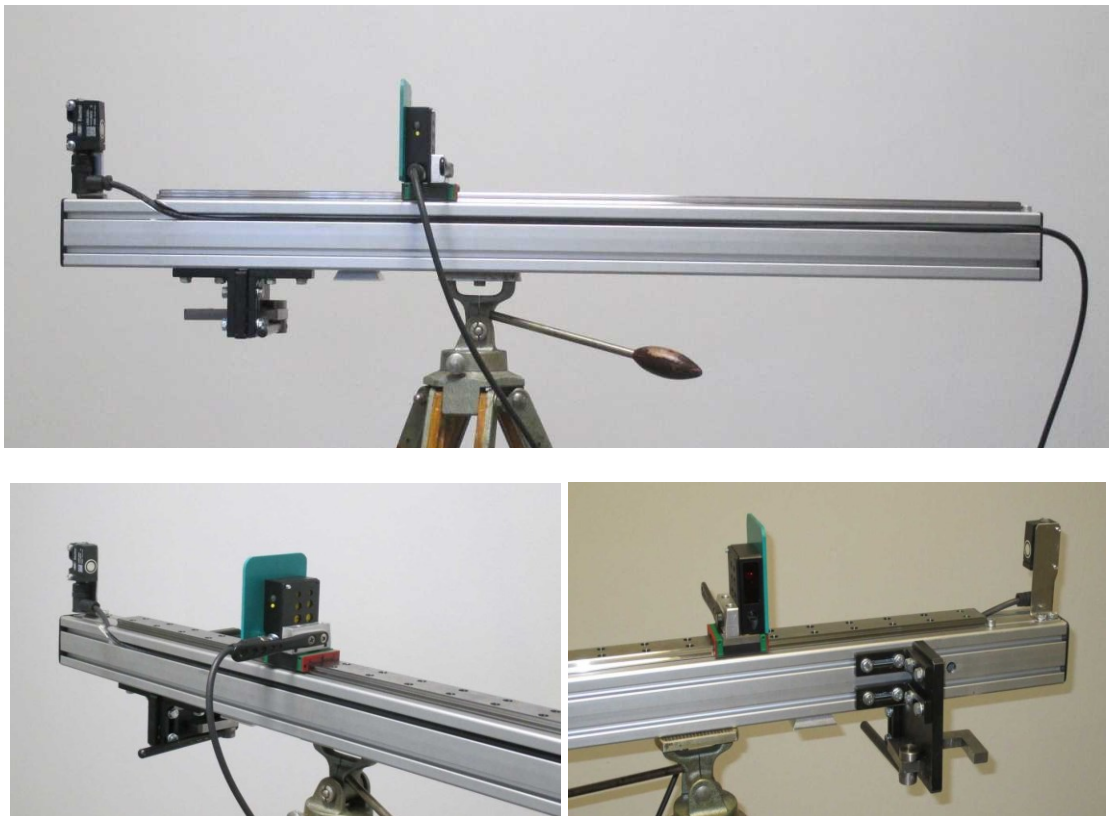
Kapitola se zabývala návrhem bezkontaktního měřicího zařízení, pro které byly vybrány různé komponenty. Navržený princip měření výrobků bude použitelný pro širokou oblast 2D měření, kdy se bude proměřovat a vykreslovat tvar bočnice a běhounový profil pláště pneumatiky. Ze všech možností byla vybrána metoda pomocí laserového a ultrazvukového snímače, kde hrály hlavní roli požadavky na pořizovací náklady měřicího zařízení a přesnost a rozsah měření. V závěru kapitoly byl formou tabulky vypočítán položkový rozpočet měřicího zařízení.

5 KONSTRUKCE MĚŘÍCIHO ZAŘÍZENÍ

Pro konstrukci měřidla byly navrženy jednotlivé komponenty, ze kterých se začalo samotné měřící zařízení realizovat. Jako první se na nosný profil namontovalo lineární vedení, které je umístěno na střed nosného profilu. Dále se šrouby upevnil na vozíček lineárního vedení nosič laserového snímače, který nesměl přecházet přes hranu nosného profilu, jinak by zavadil o opěrnou desku na zkušebním stroji. Odrazná plocha **80 mm x 80 mm** pro ultrazvukový snímač se přišroubovala také na nosič a byla vynesena o **15 mm** od středu vozíčku, aby kužel ultrazvukového snímače nebyl narušen opěrnou deskou. Držák s ultrazvukovým snímačem je na střed nosného profilu přišroubován pomocí drážkových matic. Třmenem s upínacím excentrem se přišrouboval na ocelovou destičku a jako celek se k nosnému profilu upevnil pomocí čtyř úhelníků 60 mm x 60 mm x 20 mm. Dosednutí na opěrnou desku zajišťuje požadovanou kolmost. V profilu se vyvrtal otvor, který se bude nasazovat na čep na opěrné desce. Měřící zařízení váží **7 kg**.



Obrázek 52. Nákres sestavy měřícího zařízení [vlastní zdroj]



Obrázek 53. Bezkontaktní 2D měřící zařízení [vlastní zdroj]

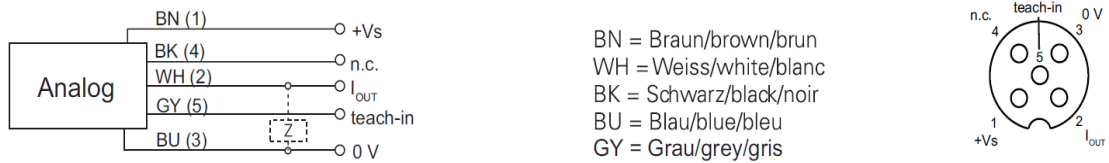
5.1 Elektrické zapojení měřícího zařízení

Měřící zařízení je potřeba elektricky připojit ke zkušebnímu stroji pomocí kabelových vývodů s konektory M12 s 8 piny. Tyto kabely jsou připojeny do rozváděče na stroji, odkud posílají přes A/D převodník naměřená výstupní data do řídicího počítače.

5.1.1 Elektrické zapojení laserového snímače

Zapojení laserového snímače bylo provedeno konektorem **M12 5pinů** s otočným podstavcem, u kterého se vyžaduje stíněný kabel Baumer s označením ESG 34CH0500G a napájením 12 až 28 V DC (stejnoseměrné napětí). Tento konektor **M12 s 5 piny** (zásuvka) je potřeba spojit s konektorem **M12 s 8 piny** (zástrčka), který je stabilně vyvedený na zkušebním bubnovém stroji. Spojení laserového snímače se zkušebním strojem se realizovalo tak, že se zapojil hnědý napájecí vodič laseru na svorku konektoru (zástrčka) pozice 2. Dále se zapojil černý vodič z laseru na svorku konektoru (zástrčka) pozice 1. Třetí vodič bílý, což je proudový výstup z laseru se zapojil na svorku konektoru (zástrčka) pozice 3. Čtvrtý vodič šedý s funkcí Teach-in se z laseru zapojil na svorku konektoru (zástrčka) pozice 4. Pokud nedojde k využívání volby Teach-in, musí být šedý vodič

připojen k zemnicí svorce GND. A pátý modrý nulový vodič je z laseru zapojen na svorku konektoru (zástrčka) pozice 7. Napojení kabelu na konektor (zástrčka) bylo usnadněno provedením pod šroubové svorky.

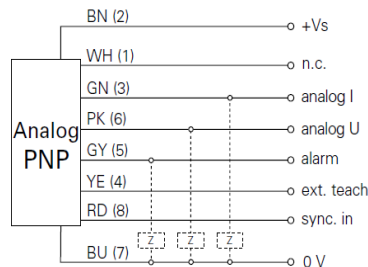


Obrázek 54. Schéma zapojení a barevné označení vodičů laserového snímače [7]

Zástrčka přímá M12 8pinů s průměrem utěsnění kabelu 6 mm až 8 mm. Plastové kryty mají dobrou odolnost vůči chemikáliím a olejům [32].



Obrázek 55. Zástrčka přímá M12 8pinů [32]



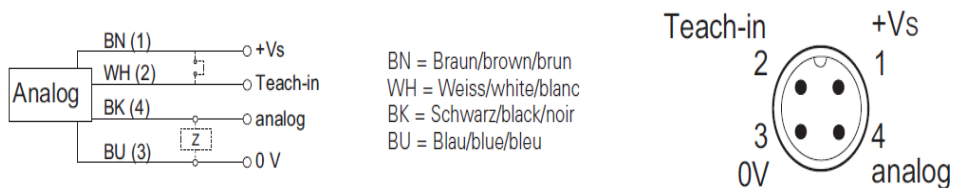
Obrázek 56. Schéma zapojení a barevné označení vodičů na kabelovém vyvedení ze zkušebního stroje [7]



Obrázek 57. Stíněný napájecí kabel pro laserový snímač (zásuvka) Baumer ESG 34CH0500G [7]

5.1.2 Elektrické zapojení ultrazvukového snímače

Zapojení ultrazvukového snímače bylo provedeno konektorem **M12 se 4 piny**, u kterého se vyžaduje stíněný kabel s označením ESW 33AH0500G a napájením 12 až 30 V DC (stejnoseměrné napětí). Tento konektor **M12 se 4 piny** (zásuvka) je potřeba spojit s konektorem **M12 s 8 piny** (zástrčka), který je stabilně vyvedený na zkušebním bubnovém stroji. Spojení ultrazvukového snímače se zkušebním strojem se realizovalo tak, že se zapojil hnědý napájecí vodič ultrazvuku na svorku konektoru (zástrčka) pozice 2. Dále se zapojil černý vodič, což je proudový výstup z ultrazvuku na svorku konektoru (zástrčka) pozice 3. Další vodič bílý s funkcí Teach-in se z ultrazvuku zapojil na svorku konektoru (zástrčka) pozice 4. Pokud nedojde k využívání volby Teach-in, musí být bílý drát připojen k zemnicí svorce GND. A čtvrtý modrý nulový vodič byl z ultrazvuku zapojen na svorku konektoru (zástrčka) pozice 7. Napojení kabelu na konektor (zástrčka) bylo usnadněno provedením pod šroubové svorky.



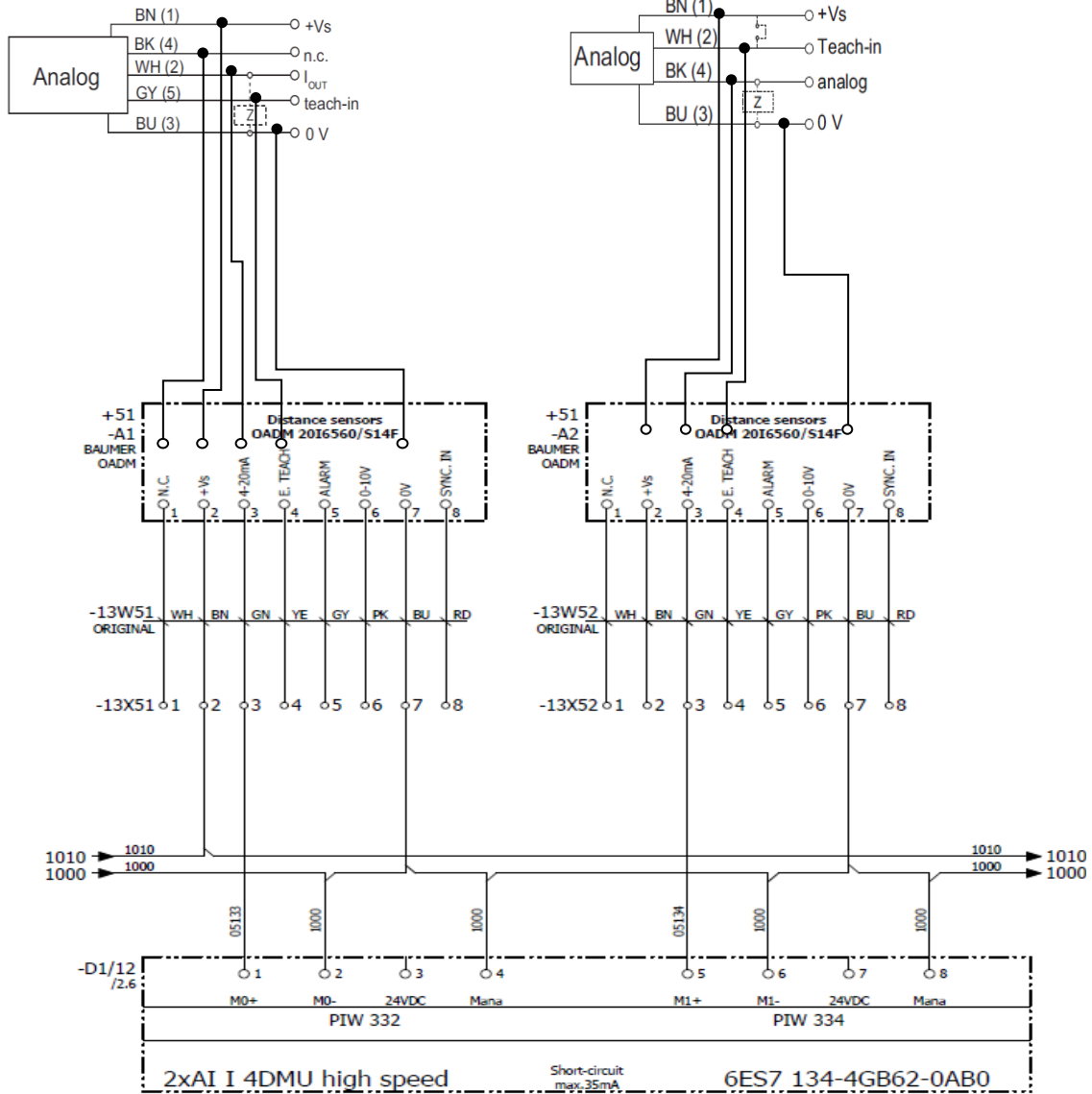
Obrázek 58. Schéma zapojení a barevné označení vodičů ultrazvukového snímače [7]



Obrázek 59. Stíněný napájecí kabel pro ultrazvukový snímač (zásuvka) Baumer ESW 33AH0500G [7]

**Laserový snímač
OADM 2012480/S14C**

**Ultrazvukový snímač
U500.DA0**



Obrázek 60. Celkové zapojení snímačů [vlastní zdroj]

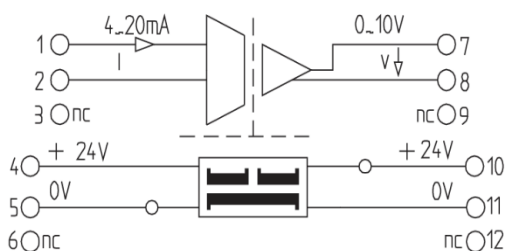
5.2 Konstrukční potíže

Při ověření konstrukce měřícího zařízení nastaly dva problémy, které bylo potřeba vyřešit, aby měřící zařízení správně fungovalo. Tyto problémy byly následující:

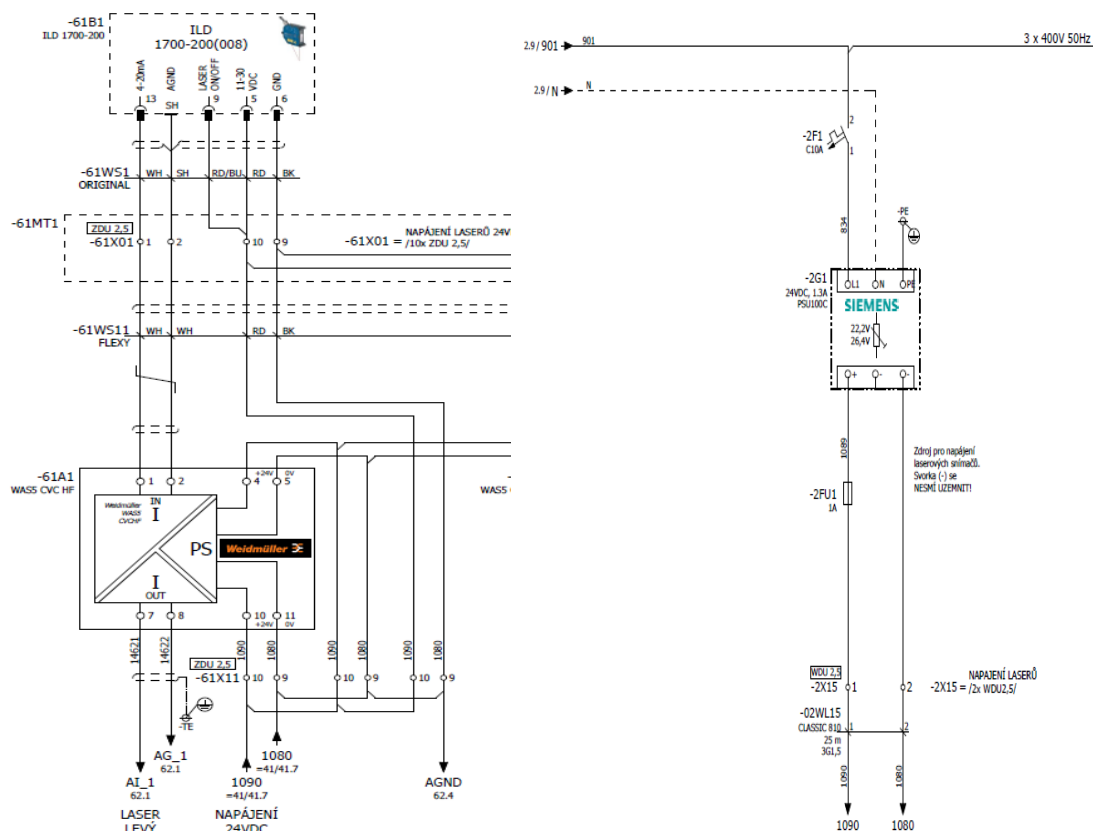
- elektrické zapojení na statickém zkušebním stroji,
- výměna pozice ultrazvukového snímače.

5.2.1 Elektrické zapojení na statickém zkušebním stroji

Aby mohlo být měřící zařízení aplikovatelné na další zkušební stroje, musel se provést zásah do elektrického zapojení na stroji, kde se provádí statické zkoušky. Problém vznikl tím, že laserový i ultrazvukový snímač mají **proudový výstup 4 - 20 mA**, kdežto 16-bitový multifunkční USB-4716 modul Advantech pro sběr dat zpracovává **analogový signál 0 - 10 V**. Jako možná alternativa řešení se nabízelo použití standardního signálového převodníku Weidmüller WAS5 CVC HF pro přenos a oddělování analogových stejnosměrných signálů vstupních 4 - 20 mA a výstupních 0 - 10 V.

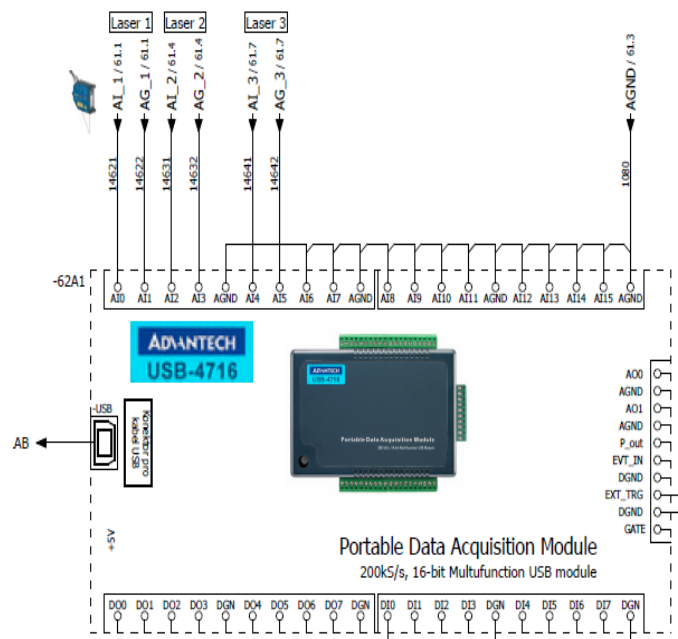


Obrázek 61. Signálový převodník Weidmüller WAS5 CVC HF a jeho zapojení [32]



Obrázek 62. Zapojení signálového převodníku Weidmüller WAS5 CVC HF a zdroje napájení [vlastní zdroj]

Zapojení převodníků a zdroje pro USB Advantech, kde analogové vstupy se zapojují diferenciálně tj. + AI0 - AI1 by byl laserový snímač a + AI2 -AI3 by byl ultrazvukový snímač. Nezapojené kanály se nesmí zapomenout spojit s analogovou nulou. Poměrně jednoduše se to dá přenastavit v nastavení karty a jednotlivé analogové signály se pak přes nulovou zemnicí svorku nebudou vzájemně rušit.

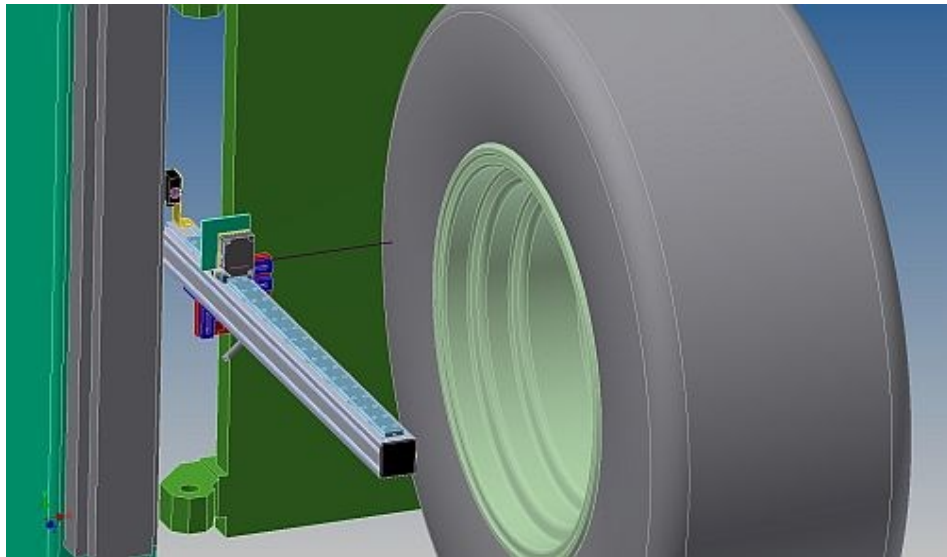


Obrázek 63. Zapojení snímačů na USB modul Advantech [vlastní zdroj]

Díky zapojení signálového převodníku do elektrického obvodu na statickém zkušebním stroji byl problém odstraněn.

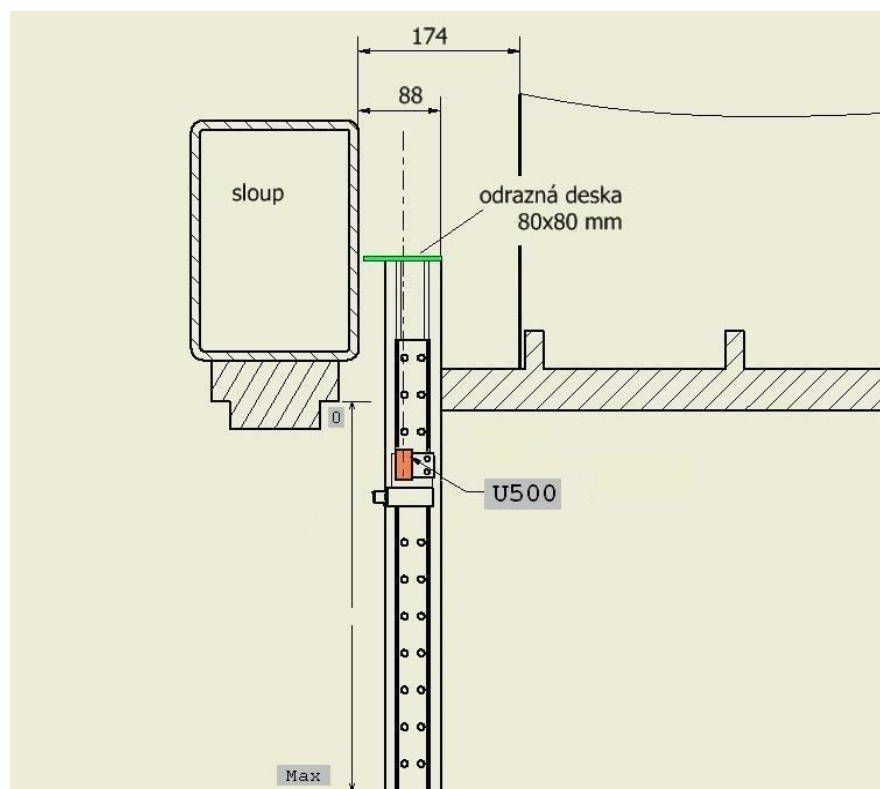
5.2.2 Výměna pozice ultrazvukového snímače

Při volbě geometrie měřicího zařízení (nosný profil, lineární vedení s vozíčkem, snímače, odrazná deska) se přirozeně vycházelo z daných provozních podmínek a technických parametrů jednotlivých prvků. Model umístění měřicího zařízení na zkušební stroj je na (Obrázku 62.), kde odrazná deska je 80 mm x 80 mm.

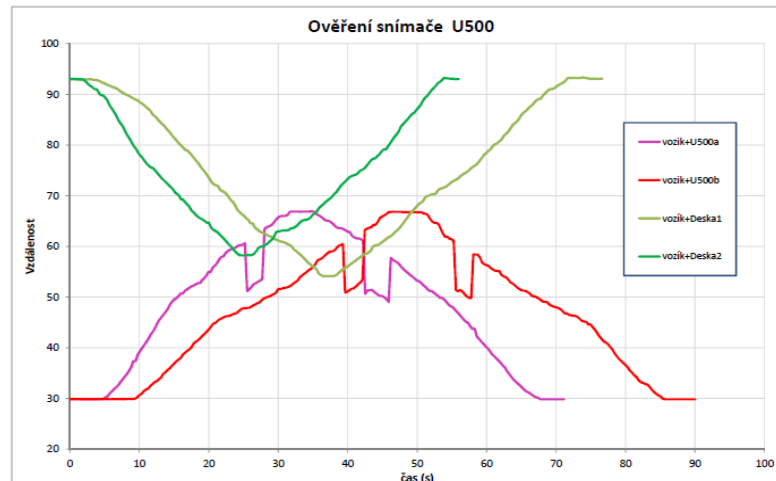


Obrázek 64. Volba geometrie měřícího zařízení [vlastní zdroj]

Při původním řešení byl ultrazvukový snímač na vozíku a odrazná deska byla na konci nosného profilu (Obrázek 63.). Průběh hodnoty snímané vzdálenosti zobrazuje červená křivka na (Obrázku 64). Opakované měření (fialová křivka) potvrdilo chybu snímače ve specifické oblasti snímání. Chybový interval snímání je na křivkách patrný skokovým poklesem hodnoty.



Obrázek 65. Původní řešení pozice snímače U500 [vlastní zdroj]



Obrázek 66. Ověření snímače U500[vlastní zdroj]

Na podobném stroji, kde ovšem nejužší místo není 88 mm, ale je téměř dvojnásobné, se tento problém neobjevil. To ukazuje na možný problém v geometrii prostoru, ve kterém je ultrazvukový snímač užíván. Jako možné opatření byla zvolena vzájemná výměna polohy snímače a odrazné desky. Na vozík se umístila odrazná deska a ultrazvukový snímač byl uchycen na nosném profilu. Záznamy vzdálenosti v čase zůstaly sice hrbaté (ruční vedení vozíku), ale skokové změny hodnoty zmizely (zelené křivky). Opakované ověření prokázalo oprávněnost použití nové konfigurace pro ultrazvukový snímač vzdálenosti.

5.3 Kalibrace měřícího zařízení

Kalibrace je soubor úkonů, které dávají za určených podmínek závislost mezi hodnotami indikovanými měřícím přístrojem nebo hodnotami reprezentovanými mírou a mezi příslušnými známými hodnotami měřené veličiny. Tato disciplína je součástí **Metrologie**, což je vědní obor, který se zabývá souhrnem znalostí a činností souvisejících s měřením podle zákona 505/1990 Sb. o metrologii.

5.3.1 Základní metrologické pojmy

Veličina je vlastnost jevu, tělesa nebo látky, která má svou velikost vyjádřenou číslem nebo referencí. Měření je souhrn činností s cílem určit hodnotu veličiny.

Jednotka je konvenčně stanovená veličina používaná ke kvantitativnímu vyjádření veličin téhož druhu.

Měřicí postup je podrobná specifikace teoretických a praktických pokynů nutných pro provedení daného měření.

Třída přesnosti je označení pro skupiny měřicích přístrojů, které splňují metrologické požadavky zaměřené na udržení chyb v předepsaných mezích.

Nejistota měření je parametr přiřazený k výsledku měření, který udává charakteristiku rozptylu hodnot, které mohou být přisuzovány k měřené veličině. Nejistota měření je určena na základě kvantifikace příspěvků všech chyb měření, které zatíží výsledek měření a vymezuje interval, o kterém se s určitou pravděpodobností předpokládá, že se do něj výsledek měření vleze.

Pracovní etalon je měřidlo, které slouží k realizaci a uchování měřicí jednotky anebo stupnice a využívá se k jejímu přenosu na měřidla nižší přesnosti [33].

5.3.2 Podmínky pro interní kalibraci

Způsob kalibrace bývá nejčastěji popsán v „Kalibračním postupu“ – což je soubor podmínek, činností a postupů včetně zpracování získaných dat. V našem případě se ovšem jedná o speciální měřidlo, pro jehož kalibraci není žádný postup stanovený. Je možné využít či modifikovat postupy zpracovávající podobný typ měřidel či snímačů.

V zásadě se jedná o kalibraci délek/geometrie, bude potřebné si připravit: etalonová měřidla délky a úhlu, monitorování teploty okolí v místě provádění kalibrace a (ev. vyrobit) pomůcky pro provádění měření.

Zařízení je uvažováno jako součást testovacího stroje a to včetně elektrických výstupů snímačů, které jsou zapojeny přímo na vstupní karty (A/D převodníky) řídicího počítače stroje. Hodnoty samotné jsou pak zobrazovány vizualizačním programem. Přepočet elektrických vstupů na reálné hodnoty je u řídicího programu řešen použitím pomocného souboru se seznamem parametrů funkcí všech I/O veličin stroje. V praxi to znamená, že u nově zavedené veličiny je nutné provést prvotní kalibraci, čímž se stanoví koeficienty regresní funkce a následně provést ověření – kalibraci.

5.3.2.1 Kalibrace měřícího zařízení

Při provádění kalibrace na zkušebním bubnovém stroji je nutné postupovat podle zásad a postupů popsaných v dokumentaci daného zkušebního stroje.

Na řídicím počítači se spustí program pro obsluhu stroje a přepne se do režimu „kalibrace“. Tento režim je dostupný po zadání přístupového hesla.

Teplota v místnostech je měřena registračním teploměrem (dataloggerem), který zaznamenává teplotu v prostoru, která je stálá $25 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$ a $36 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$. Záznam je ukládán do energeticky nezávislé elektronické paměti.

Dále se nachystají potřebné pomůcky (magnetické upínací stojánky) a pracovní etalony, což jsou v našem případě posuvné měřidlo digitální **1000 mm** Scala Alinox 337.264 a posuvné měřidlo digitální **600 mm** MITUTOYO.



Obrázek 67. Posuvná měřidla digitální Scala a MITUTOYO [vlastní zdroj]

Měřicí zařízení se nasune kolmo na čep, který vyčnívá z boční strany opěrné desky a pomocí třmenu s excentrem se zafixuje jejich kolmost. Laserový a ultrazvukový snímač je kabelově spojen s konektory na zkušebním bubnovém stroji.

Magnetické upínací stojánky jsou kolmo upevněny do vhodné vzdálenosti na opěrné desce zkušebního stroje spolu s pohyblivým ramenem etalonu posuvného měřidla a snímány laserovým snímačem, kde následné hodnoty se zobrazují na monitoru počítače.

Kalibrace se provádí přímým porovnáním hodnoty pracovního etalonu posuvného měřidla (referenční hodnoty) a hodnoty kalibrované veličiny laserového snímače odečtené z monitoru řídicího systému. K referenční hodnotě pracovního etalonu zapsané do buňky Excelu jsou automaticky přičteny konstanty dle příslušné kalibrované veličiny a výsledek je zobrazen ve výpočtové buňce Excelu. Tato hodnota se jako skutečná tečná vzdálenost odrazné plochy pracovního etalonu od začátku měřicího rozsahu laserového snímače zapíše do tabulky měřených hodnot v Excelu. V obslužném programu řídicího počítače se ve vhodně zvolených krocích prověří celý požadovaný rozsah kalibrované veličiny v našem případě délky a to nejméně ve 4 kontrolních bodech. Přimo z displeje pracovního

etalonu posuvného měřidla odečteme ustálenou hodnotu a údaj ihned zaznamenáme do sloupce „Etalon“ formuláře kalibračního listu tabulky programu MS Excel. Hodnotu laserového snímače, která se zobrazí na řídicím počítači, zapíšeme do sloupce „Měřená“. Hodnoty prvního kalibračního měření se následně přepíší do pomocné datové tabulky „Ověření stavu před kalibrací“.

5.3.2.2 Zpracování naměřených hodnot

Měřené hodnoty postupně zapisované do formuláře kalibračního listu tabulky programu MS Excel se ve sloupcích s výpočtovými vzorci ihned zpracovávají. Automaticky se zobrazuje absolutní a relativní chyba i rozšířená nejistota měření. Podmínkou označení kalibračního protokolu „vyhovuje“ je, když maximální odchylka žádného měřícího bodu nepřesáhne povolené tolerance měřícího zařízení. Není-li stanovená podmínka splněna, provede se seřízení (rekalibrace) dané veličiny.

Do obslužného programu řídicího počítače kalibrovaného stroje se v režimu „kalibrace“ zapíší hodnoty sloupců Měřená i Etalon a příkazem „vypočítat nové kalibrační konstanty“ se tato akce provede. Nevede-li toto softwarové seřízení k žadáným výsledkům, je třeba proces kalibrace přerušit a diagnostikovat příčinu odchylky. Po nalezení a odstranění příčiny lze opět pokračovat v kontrole a seřízení dle výše uvedeného postupu. Z výsledku kontroly se vytvoří protokol Kalibrační list č... a jako datový soubor je uložen na serveru.

INTERNÍ KALIBRAČNÍ LIST B270-Ls-2016
interní kalibrace zkušebního zařízení

B270 - bubnový zkušební stroj Označ.: STN 9 Inv.č.: 6999

Laser Záznam kontury pláště Čís.param.: 155

bod měření	kalibrování rozsah (mm): 0-360		zkušební pozice		Width	rozšířená
	Měřená [mm]	Etalon [mm]	Abs.odchyška [mm]	Rel.odchyška [%]	[%]	nejistota U [mm]
1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3
2	74,6	74,5	0,1	0,1	0,1	0,3
3	147,7	147,5	0,2	0,1	0,1	0,3
4	230,4	230,5	-0,1	0,0	0,0	0,3
5	312,0	312,3	-0,3	-0,1	0,1	0,3
6	353,9	353,8	0,1	0,0	0,0	0,3
7						
8						
9						
10						

Povolená max. odchyška : +/- 0,5 mm abs.

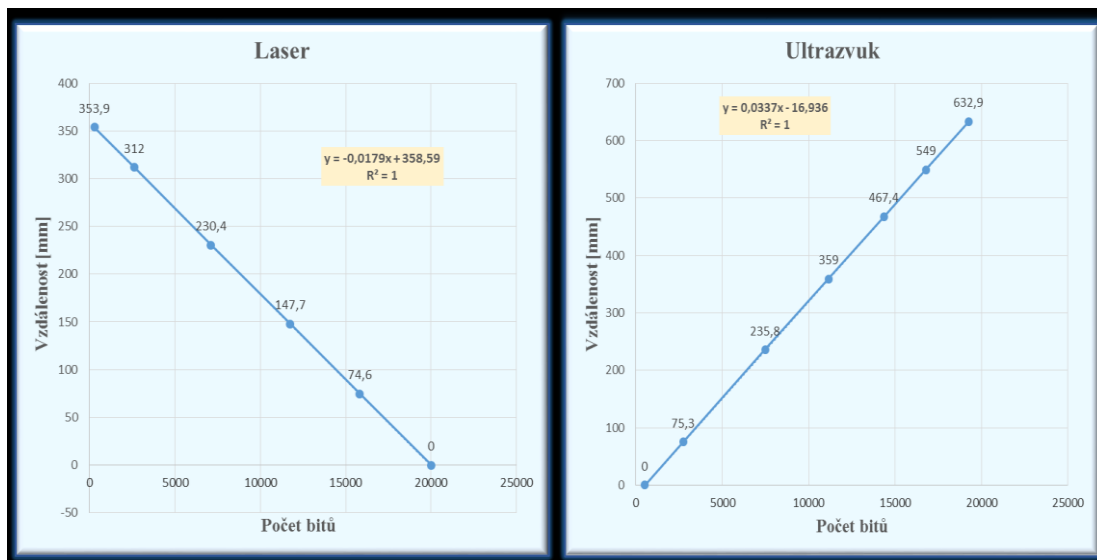
Měření provedeno dle interního kalibračního postupu č. KP-L-15
Okolní podmínky měření: teplota prostředí 36° +/- 2°C
Hodnota měřená - odečet na monitoru řídicího PC stroje
Hodnota referenční - udává PE:
- posuvné měřidlo digitální Mitutoyo 600mm ozn.zař. PMD 38
- metrologická návaznost v AKL č. 2301, M&B Calibr Ivančice
Absolutní odchyška - měřená mínus kontrolní hodnota
Relativní odchyška - procentuální vyjádření absolutní odchyšky
Laserový senzor vzdálenosti Baumer OADM 20I2480/S14C

Rozšířená nejistota měření je součinem standardní nejistoty měření a koeficientu pokrytí k = 2, což pro normální rozdělení odpovídá pravděpodobnosti pokrytí min. 95%. (stanovení v SD č. G3 v souladu s EA-4/02)

datum kalibrace: 10.10.2016 platnost do: 10/2017 stav: vyhovuje

Kalibroval: Bc. Kučik *Kučik* Kontroloval: RNDr. Soukup

Obrázek 68. Kalibrační list laserového snímače [vlastní zdroj]



Obrázek 69. Stanovení regresních koeficientů použitých snímačů [vlastní zdroj]

Jako regresní funkce se u zkušebního stroje standardně používá lineární regrese. Oprávněnost jejího užití dokladují regresní koeficienty získaných závislostí, které se v obou případech rovnají 1.

Dílčí závěr

Kapitola popisovala návrh a konstrukci měřícího zařízení, kde měřící systém byl složen z jednotlivých navržených komponentů. Pro oba snímače bylo zapotřebí speciálního elektrického zapojení, kdy jednotlivé vodiče se v konektorech musely zredukovat podle schéma zapojení snímačů. Při konstrukci měřícího zařízení došlo k problému při navržené pozici ultrazvukového snímače, kdy kužel vyslaného a přijímaného signálu z ultrazvuku zasahoval do konstrukce zkušebního stroje a musela tak být vyměněna pozice mezi ultrazvukem a odraznou plochou. Dalším problémem bylo elektrické zapojení na statickém zkušebním stroji. Důležitou částí kapitoly byla samotná kalibrace měřícího zařízení, která je nezbytně nutnou podmínkou pro objektivně správné posouzení zkoušeného výrobky.

6 OVĚŘENÍ MĚŘÍCIHO ZAŘÍZENÍ V PROVOZU

Po návrhu a samotné konstrukci přichází na řadu ostrý test, při kterém bude ověřeno, zda měřicí zařízení splní stanovené požadavky v provozu. Proto, aby měřicí zařízení spolehlivě měřilo, je zapotřebí splnit jednotlivé kroky, které jsou následující:

- stanovení postupu při měření,
- zpracování naměřených dat a následná integrace do podnikové databáze.

6.1 Měřicí postup

1. Obsluha si měřicí zařízení přiveze buď na vozičku, nebo přinese měřidlo v úložném boxu ke zkušebnímu stroji.
2. Obsluha následně vezme měřicí zařízení z úložného boxu, kde po vyndání položí kabely na podlahu a měřicí zařízení nasadí otvorem v nosném profilu na čep opěrné desky, která je usazena na zkušebním stroji.
3. Obsluha přitom kontroluje, zda je správně nasazen třmen za opěrnou desku a zaaretuje následně upínací excentr. Nosný profil, na kterém je pomocí úhelníků pevně připevněna ocelová destička, tak dosedne na opěrnou desku a zabezpečí tak pravoúhlé ustavení měřícího zařízení.
4. Obsluha ověří kolmost digitálním etalonovým úhломěrem.
5. Obsluha dále spojí konektory měřícího zařízení s konektory ze zkušebního stroje.
6. Měřicí zařízení je manuální, takže obsluha pomocí táhla, které je uchyceno na vozičku lineárního vedení, nastaví laserový snímač do nulové polohy, což je poloha, kdy laserový svazek snímače lícuje s plochou opěrné desky. Ultrazvukový snímač je připraven k měření, protože odrazná deska se nachází za slepou zónou snímače **100 mm**.
7. Obsluha následně na řídicím počítači spustí zkoušku a jde provést manuální odměření výrobku. Zároveň se na monitoru řídicího počítače vykreslí tvar výrobku (bočnice a běhoun pláště pneumatiky). Jakmile obsluha proměří výrobek, což může trvat cca **40 sekund**, zkoušku ukončí.

Měřicí zařízení bylo navrženo tak, aby následná práce s ním byla snadná a hlavně rychlá, což vycházelo ze stanovených požadavků.

6.2 Zpracování naměřených dat a následná integrace do podnikové databáze

Při měření měřicím zařízením dochází k přenosu naměřených dat v podobě proudového výstupního signálu od laserového a ultrazvukového snímače, která jsou dále poslána na A/D převodník, který tento signál zpracuje do digitální podoby. Signál je dále zpracován modulárním PLC (programovatelný logický automat), který posílá po průmyslové sběrnici Profibus DP digitální signál do řídicího počítače, ve kterém dojde ke zpracování digitálního signálu na reálnou hodnotu měřenou snímačem. V řídicím počítači je samostatný program pro zpracování výsledků měření na zkušebních bubnových strojích.

Modulární PLC systém je takový systém, kde jsou jednotlivé komponenty celku rozděleny do modulů, kde je možno systém dále rozšiřovat s ohledem na limity výstavby systému. Celý systém PLC se potom skládá ze zdroje, CPU, vstupů/výstupů, funkčních modulů. CPU (centrální procesorová jednotka) automaticky ukládá všechna data v případě výpadku napájení, takže jsou data k dispozici opět beze změny po obnovení napájení.

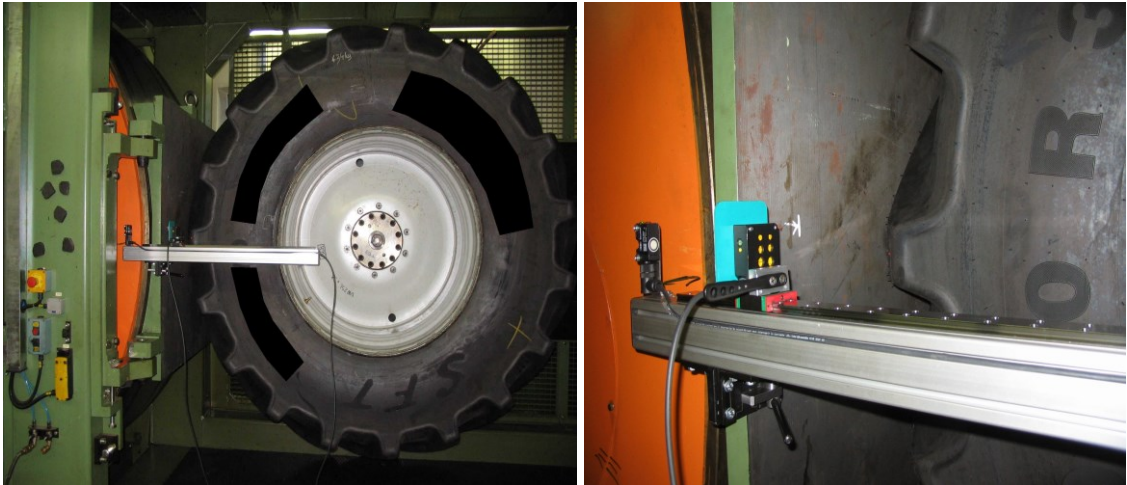


Obrázek 70. Simatic S7-300 PLC [34]

Po ukončení zkoušky jsou naměřená data uložena ve standardizovaném monitorovacím souboru a následně zpracována dalším postprocesem ve formě výstupního protokolu.

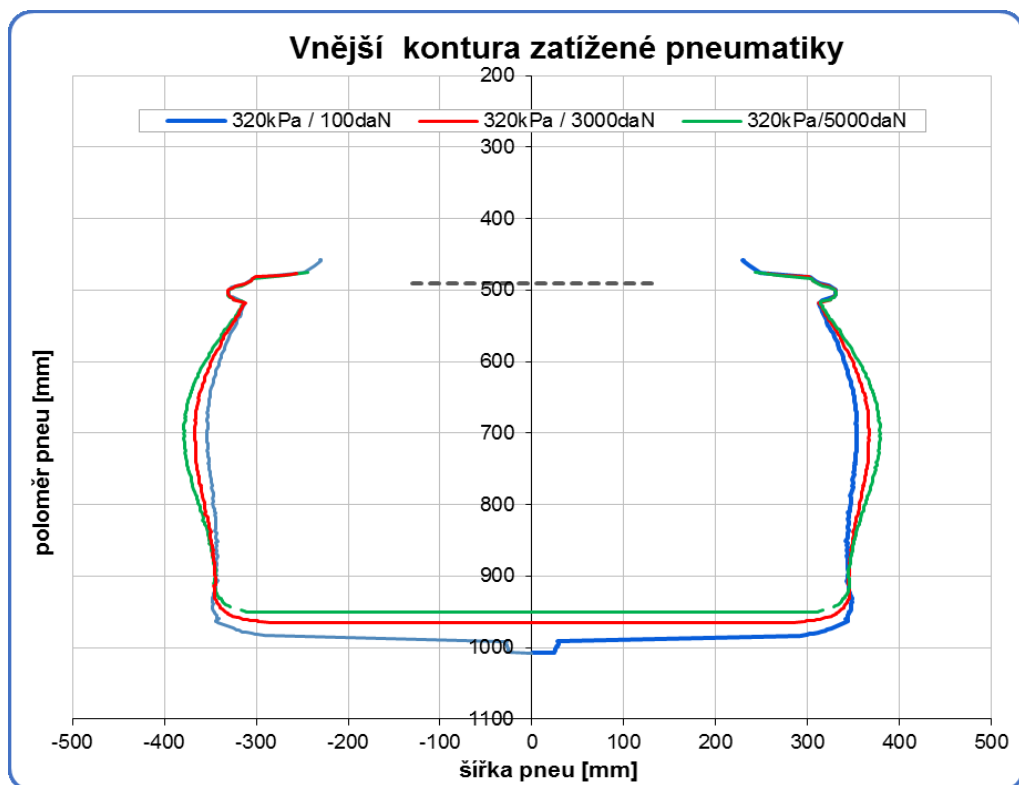
6.3 Měření výrobku

Měřicí zařízení je upnuto na opěrnou desku zkušebního stroje. Obsluha podle měřicího postupu provedla proměření výrobku (kontury profilu pláště pneumatiky). Laserový snímač prokresloval profil kontury z bodu 0 (hrana opěrné desky) přes celou bočnici pláště až k ráfku, kde měření bylo ukončeno, viz obr. 71.



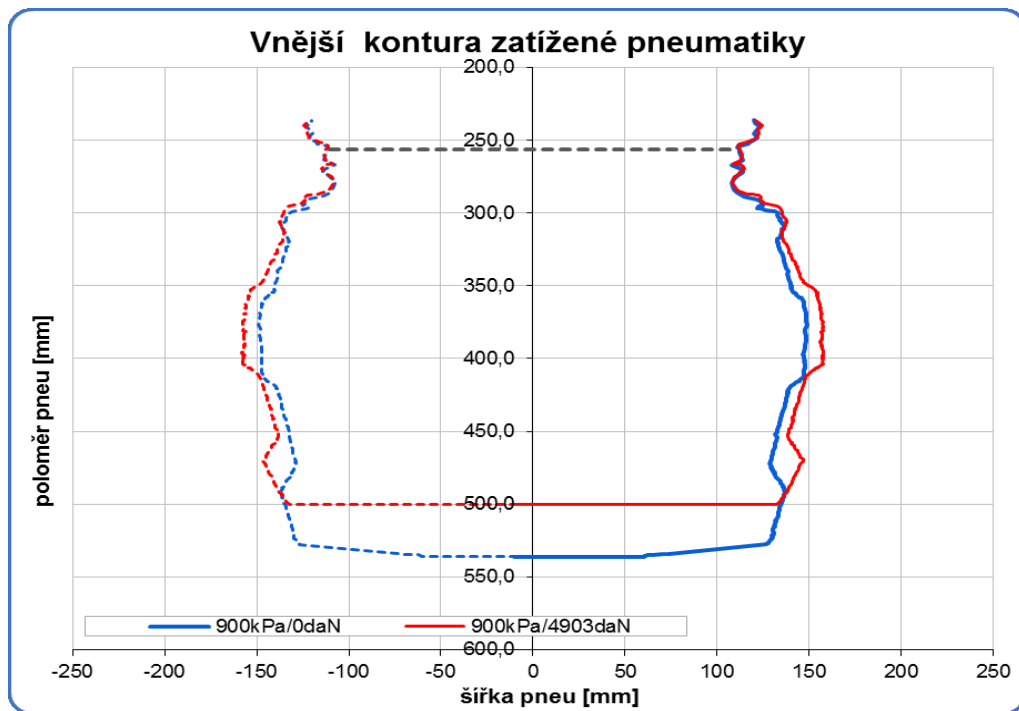
Obrázek 71. Měření výrobku [vlastní zdroj]

Výsledek měření byl zpracován podle naměřených hodnot do výstupního protokolu. Garantovaná kvalita při měření výrobků je $0,4 \div 0,7$ mm. Přesnost měření by se dala vylepšit až na hodnotu cca 0,3 mm zakoupením kvalitnějšího laserového snímače, kde samozřejmě s kvalitou roste cena. Výrobek byl proměřen ve třech krocích, kde podmínky huštění byly stejné 320 kPa a hodnoty zatížení byly v první kroku na lehký dotyk 100 daN, druhý krok se zatížením 3000 daN a třetí krok byl měřen se zatížením 5000 daN.



Obrázek 72. Vnější kontura zatížené pneumatiky [vlastní zdroj]

Dalším příkladem ověření funkčnosti měřícího zařízení je proměření výrobku (pneumatiky), který měl v prvním průběhu počáteční podmínky huštění 900 kPa a zatížení 0 daN, což znamená, že výrobek nebyl opřen o opěrnou desku. Druhý průběh je měřen se stejným huštěním, ale pneumatika je opřena o opěrnou desku silou 4903 daN.



Obrázek 73. Vnější kontura zatížené pneumatiky [vlastní zdroj]

Dílčí závěr

Kapitola prezentuje ověření měřícího zařízení v průmyslovém provozu, ve kterém není pro obsluhu jednoduché přesně a spolehlivě měřit. Hlavním faktorem pro ověření měřidla je jednak pečlivost obsluhy při měření a také jeho postup, se kterým se bude měření provádět. Následná naměřená data se musí dále v řídicím počítači zpracovat do podnikové databáze, aby mohly být dalším postprocesem zobrazeny ve formě výstupního protokolu. Samotná práce s manuálním bezkontaktním měřícím zařízením je jednoduchá na obsluhu a hlavně měření je rychlé a na své poměry přesné. Navržené měřící zařízení slouží k měření 2D výrobků (pneumatik), u kterých se proměřuje jejich zatížený profil.

ZÁVĚR

Diplomová práce se zabývala v teoretické části technickými způsoby měření výrobků kontaktním a bezkontaktním měřením, kdy v dnešní době jsou kladeny stále vyšší nároky na měření a tím se zvyšují i náročnější požadavky na vývoj a výrobu snímačů, které hrají důležitou roli při měření v průmyslových odvětvích. Jednotlivé snímače byly popsány jak z fyzikálního principu, tak z hlediska praktického využití, kdy řada z nich se využívá pro bezpečnostní aplikace. Jeden z nejpoužívanějších způsobů měření výrobků ve 2D a 3D souřadnicích je na základě triangulační metody, která dosahuje velkých přesností a značného rozsahu při měření. Samotné měření, je upraveno řadou právních předpisů a technických norem, z nichž nejdůležitější je zákon č. 505/1990 Sb., o metrologii.

Teoretická část dále popisovala 3D laserové skenování, které se stává rychle se rozvíjející technologií bezkontaktního sběru prostorových souřadnic při dokumentaci výrobků nebo objektů, kdy se razantně zvýšila přesnost a rychlost měření. Mezi oblastí, ve kterých laserové skenování dosahuje značného vzestupu, se řadí využití ve forenzních vědách a kriminalistice. Tato oblast laserového skenování slouží k provedení podrobné studie místa činu a následné analýze, která by mohla pomoci zajistit autentickou rekonstrukci zločinu. V této části je také rozebráno několik druhů laserových skenerů, které mají své využití v různých odvětvích.

V praktické části byly popsány požadavky na měřicí zařízení, které si stanovil zadavatel Laboratorní zkušebny pneumatik. Všechny požadavky hrají důležitou roli pro návrh samotného měřicího zařízení, ale nejvyšší prioritou zadavatele je bezpečnost obsluhy laboratorní zkušebny, která bude měření provádět. Dále se práce zabývala popisem zkušebního stroje, na kterém se budou výrobky měřit. V další části byl stanoven návrh bezkontaktního měřicího zařízení, pro který byly vybrány vhodné komponenty. Navržený princip měření výrobků bude použitelný pro širokou oblast 2D měření, kdy se bude proměřovat a vykreslovat tvar bočnice a běhounový profil pláště pneumatiky. Byla vybrána metoda pomocí laserového a ultrazvukového snímače, kde hrály hlavní roli požadavky na pořizovací náklady měřicího zařízení, přesnost a rozsah měření. Pro návrh měřicího zařízení byl formou tabulky vypočítán položkový rozpočet. Celková cena navrhovaného zařízení činí 49 050 Kč.

Konstrukce měřicího zařízení byla složena z jednotlivých navržených komponentů. Pro oba navržené snímače bylo zapotřebí speciálního elektrického zapojení, kdy jednotlivé

vodiče se v konektorech musely zredukovat podle schéma zapojení snímačů. Při konstrukci měřicího zařízení došlo k problému při navržené pozici ultrazvukového snímače, kdy kužel vyslaného a přijímaného signálu z ultrazvuku zasahoval do konstrukce zkušebního stroje a musela tak být vyměněna pozice mezi ultrazvukem a odraznou plochou. Dalším problémem bylo elektrické zapojení na statickém zkušebním stroji. Důležitá byla také prvotní kalibrace měřicího zařízení, bez které by systém nemohl správně fungovat a měřit tak zkoušené výrobky.

V závěru praktické části došlo na ověření měřicího zařízení v provozu. Provedená měření prokázala použitelnost zvolené koncepce pro zadané použití. Ortogonalita systému je zajištěna správně provedenou montáží na zkušební stroj, takže pečlivost obsluhy při tomto kroku je pro výsledek rozhodující. Následná naměřená data se musí dále v řídicím počítači zpracovat do podnikové databáze, aby mohly být dalším post procesem zobrazeny ve formě výstupního protokolu. Samotná práce s manuální bezkontaktním měřicím zařízením je jednoduchá na obsluhu a hlavně měření je rychlé a na své poměry přesné. Navržené měřicí zařízení slouží k měření 2D výrobků (pneumatik), u kterých se proměřuje jejich zatížený profil.

Jednotlivé body zadání byly v diplomové práci splněny. Cílem práce bylo nahrazení stávajícího mechanického kontaktního snímacího zařízení bezkontaktním snímáním s výstupem pro zpracování výpočetní technikou.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] *MM Průmyslové spektrum*. [online]. 2016 [cit. 2016-11-15]. Dostupné z <<http://www.mmspektrum.com/clanek/bezkontaktni-mereni-vzdalenosti.html>>.
- [2] HRUŠKA, František. *Technické prostředky integrované automatizace* [skriptum]. Zlín: Univerzita Tomáše Bati, 2012. ISBN 978-80-7454-234-3. 345 s.
- [3] HRUŠKA, František. *SENZORY- Fyzikální principy, úpravy signálů, praktické použití* [skriptum]. Zlín: Univerzita Tomáše Bati, 2011. ISBN 978-80-7454-096-7. 200 s.
- [4] *FARO 3D měřicí přístroje a ramena*. [online]. 2014 [cit. 2016-11-15]. Dostupné z <<http://www.merici-pristroje.cz/faro-2/>>.
- [5] *Laserové 2D skenery*. [online]. 2005-2016 [cit. 2016-11-17]. Dostupné z <<http://www.rmt.cz/cz/produkty/procesni-instrumentace/2d-scanery/120-laserove-skenery-serie-rf-620-hs-dhs.html>>.
- [6] *Analogové odměřovací snímače*. [online]. 2009-2016 [cit. 2016-11-16]. Dostupné z <<http://www.ajptech.cz/produkty/prumyslova/automatizace/baumersenzory/snimace/fotoelektricke/analogove-odmerovaci-oadm-zadm-fadk-14/>>.
- [7] BAUMER. *Photoelectric sensors for countless applications*. [online]. 2016 [cit. 2016-11-16]. Dostupné z <<http://www.baumer.com/us-en/products/presence-detection/photoelectric-sensors/>>.
- [8] RMT. *Měření vzdálenosti triangulační technikou*. [online]. 2005-2016 [cit. 2016-11-17]. Dostupné z <http://www.rmt.cz/katalog/profil/KL/KL-RI-P-102_1211_RF603_www.pdf>.
- [9] AUTOMATIZACE. *Princip laserových snímačů vzdálenosti s triangulačním principem měření*. [online]. 1997-2014 [cit. 2016-11-17]. Dostupné z <<http://automatizace.hw.cz/mereni-a-regulace/princip-funkce-laserovych-snimacu-vzdalenosti-s-triangulacnim-principem-mereni.html>>.
- [10] *Polohová sensorika*. [online]. 1998-2016 [cit. 2016-11-18]. Dostupné z <<http://www.ifm.com/ifm.cz/web/pmain/010.html>>.
- [11] *Indukční snímače-automatizace*. [online]. 2016 [cit. 2016-11-19]. Dostupné z <<http://automatizace-issnp.wz.cz/Soubory/Indukcnostni%20%20snimace%20polohy.pdf>>.

- [12] *Snímače polohy*. [online]. 2016 [cit. 2016-11-19]. Dostupné z <<http://www.edumat.cz/texty/poloha.pdf>>.
- [13] FLIR. *Termokamera FLIR Tau 2*. [online]. 2016 [cit. 2016-11-19]. Dostupné z <<http://www.termokamery-flir.cz/termokamera-flir-tau2-gige/>>.
- [14] FLIR. *Termokamera FLIR E6*. [online]. 2016 [cit. 2016-11-19]. Dostupné z <<http://www.termokamery-flir.cz/termokamera-flir-e4-flir-e5-flir-e6-flir-e8-prumysl/>>.
- [15] CENTRUM TERMOGRAFIE. *Aplikace termografie v průmyslu*. [online]. 2016 [cit. 2016-11-19]. Dostupné z <<http://www.centrumtermografie.cz/integrace-stacionarnich-termokamer-v-prumyslu/>>.
- [16] *Koncový spínač Schlegel EKUI-KH*. [online]. 2016 [cit. 2016-11-19]. Dostupné z <<http://www.conrad.cz/koncovy-spinac-schlegel-eku1-kh-380-v-ac-6-a-380-v-ac-paka-skladkou.k701993>>.
- [17] *Bezpečnostní spínač*. [online]. 2016 [cit. 2016-11-19]. Dostupné z <http://www.euchner.cz/data/pdf/Download/Letaky/CTP_flyer.pdf>.
- [18] *Základní právní předpisy pro metrologii*. Brno, 2015. Školící materiály ČMI. Český metrologický institut.
- [19] ČSN EN ISO 10360-4. *Geometrické požadavky na výrobky (GPS) – Přejímací a periodické zkoušky souřadnicových měřicích strojů (CMM) : Část 4: Souřadnicové měřicí stroje používané v režimu měření skenováním*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2003. 16s. Třídící znak 252011.
- [20] ČSN EN ISO 10360-2. *Geometrické požadavky na výrobky (GPS) – Přejímací a periodické zkoušky souřadnicových měřicích strojů (CMM): Část 2: Souřadnicové měřicí stroje používané pro měření lineárních rozměrů*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010. 31s. Třídící znak 252011.
- [21] VDI/VDE 2634 - Part 2 *Optical 3-D measuring systems - Optical systems based on area scanning*. ICS: 17.040.01, August 2012.
- [22] BREJCHA, M., BRŮNA, V., MAREK, Z., VĚTROVSKÁ, B. *Metodika digitalizace, 3D dokumentace a 3D vizualizace jednotlivých typů památek* [Certifikovaná metodika]. Ústí nad Labem: Národní památkový ústav, územní odborné pracoviště, 2015. ISBN 978-80-85036-61-9. 60 s.

- [23] PRIMA BILAVČÍK. *Přístroje pro měření a metrologii*. [online]. 2016 [cit. 2016-11-22]. Dostupné z <<http://www.merici-pristroje.cz/>>.
- [24] MAREK, Zdeněk. *Lupa už nestačí – místo činu se dnes zkoumá 3D skenerem*. Praha, 2016. Zpráva. Policejní akademie České republiky v Praze, katedra kriminalistiky.
- [25] MAREK, Zdeněk. *Moderní česká kriminalistika: Báječné nové metody, ale zatím jen teoreticky*. Praha, 2016. Zpráva. Policejní akademie České republiky v Praze, katedra kriminalistiky.
- [26] FARO. *Products metrology*. [online]. 2016 [cit. 2016-11-23]. Dostupné z <<http://www.faro.com/products/>>.
- [27] FRYDRÝN, Michal. *Série dynamických zkoušek střetu osobního automobilu s dětským chodcem*. Praha, 2012. Závěrečná zpráva. ČVUT Ústav soudního znaleství v dopravě.
- [28] *Scanner iTero*. [online]. 2016 [cit. 2016-11-24]. Dostupné z <<http://www.itero.com/>>.
- [29] SPSKS. *Technologie skenování ve 3D*. [online]. 2016 [cit. 2016-11-24]. Dostupné z <http://www.spsks.cz/wp-content/uploads/2016/03/Technologie_skenov%C3%A1n%C3%AD-ve-3D-0.pdf>.
- [30] HIWIN. *Lineární vedení*. [online]. 2016 [cit. 2016-11-28]. Dostupné z <http://www.hiwin.cz/cz/produkty/linearni-vedeni/kulickove-vedeni/rada-we/35_weh>.
- [31] HABERKORN. *Přehledový katalog Haberkorn Ulmer*. [online]. 2016 [cit. 2016-11-28]. Dostupné z <http://www.haberkorn.cz/files/file/system-hlinikovych-profilu/ke-stazeni/MB7_CZ.pdf>.
- [32] MURRELEKTRONIK. *Připojovací technika*. [online]. 2016 [cit. 2016-11-29]. Dostupné z <http://shop.murrelektronik.com/en/Connection-Technology/Field_wireable/M12-MALE-0-FIELD-WIREABLE-SCREW-TERM-7000-17301-0000000.html>.
- [32] WEIDMUELLER. *Průmysl. Elektronika*. [online]. 2016 [cit. 2016-11-29]. Dostupné z <<http://catalog.weidmueller.com/catalog/Start.do?localeId=cs&ObjectID=8447280000>>.
- [33] Sborníky technické harmonizace. *Terminologie z oblasti metrologii*. Praha, 2010. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví.
- [34] SIEMENS. *Simatic s7 300*. [online]. 2016 [cit. 2016-12-4]. Dostupné z <<http://www.isgautomation.com/siemens-simatic-s7-300-plc-6es7.html>>.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

NETD	Noise Equivalent Temperature Difference
CMM	Coordinate Measuring Machine
EMC	Elektromagnetická kompatibilita
CAD	Computer Aided Design
LED	Light Emitting Diode
OSSD	Output Signal Switching Device
PLC	Programovatelný logický automat
ČMI	Českým metrologický institut
UAV	Unmanned Aerial Vehicle
WIFI	Bezdrátová komunikace v počítačových sítích
USB	Universal Serial Bus

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obrázek 1. Fotoelektrické snímače [6]</i>	15
<i>Obrázek 2. Princip měření vzdálenosti triangulační metodou [8]</i>	15
<i>Obrázek 3. Princip laserového snímače [9]</i>	16
<i>Obrázek 4. Praktické využití laserového snímače [7]</i>	17
<i>Obrázek 5. Laserový snímač s potlačeným pozadím [6]</i>	17
<i>Obrázek 6. Analogové liniové snímače [6]</i>	18
<i>Obrázek 7. Praktické využití optických závor [6]</i>	20
<i>Obrázek 8. Kapacitní snímače KD5039, KB5096 a KQ6016 od firmy ifm [10]</i>	21
<i>Obrázek 9. Blokové schéma indukčního snímače, [11] upravil Kučík 2016</i>	22
<i>Obrázek 10. Induktivní snímače IF5807, IM0055 a IF0311 od firmy ifm [10]</i>	22
<i>Obrázek 11. Blokové schéma ultrazvukového snímače, [12] upravil Kučík 2016</i>	23
<i>Obrázek 12. Ultrazvukové snímače ifm UGT515 a BAUMER UR18, U500, O500 [10], [7]</i>	23
<i>Obrázek 13. Vysílané a odražené pulzy, [12] upravil Kučík 2016</i>	24
<i>Obrázek 14. Zvukový kužel profilového grafu ultrazvukového snímače [7]</i>	25
<i>Obrázek 15. Termokamera FLIR Tau 2 [13]</i>	25
<i>Obrázek 16. Hlídaní perimetru termokamerou [13]</i>	26
<i>Obrázek 17. Termokamera FLIR E6 [14]</i>	27
<i>Obrázek 18. Měření teploty pneumatiky termokamerou FLIR E6 [vlastní zdroj]</i>	27
<i>Obrázek 19. Blokové schéma termokamery, [15] upravil Kučík 2016</i>	28
<i>Obrázek 20. Optické snímání hladiny [6]</i>	29
<i>Obrázek 21. Princip inkrementálního snímače [12]</i>	30
<i>Obrázek 22. Koncový spínač Schlegel EKU1-KH [16]</i>	31
<i>Obrázek 23. Bezpečnostní elektromechanický zámek [17]</i>	32
<i>Obrázek 24. Ukázka dat mračna bodů (vlevo) a polygonová síť (vpravo)[22]</i>	37
<i>Obrázek 25. Skener FARO Focus X330 [23]</i>	40
<i>Obrázek 26. FARO Focus S 350 a uhlíkový stativ [26]</i>	41
<i>Obrázek 27. Měřicí ramena FARO Arm Edge a Arm Fusion [26]</i>	42
<i>Obrázek 28. Skener PreciSCAN [23]</i>	42
<i>Obrázek 29. Skenování sochy s využitím markerů [23]</i>	43
<i>Obrázek 30. Kalibrační deska pro kontrolu přesnosti [26]</i>	43
<i>Obrázek 31. Postup při pořizování 3D skenu na místě činu [25]</i>	45

Obrázek 32. Ukázka 3D skenu místa činu [25]	45
Obrázek 33. Zajišťování stop na místě činu [26]	46
Obrázek 34. Ohledání místa činu s FARO Freestyle[26].....	47
Obrázek 35. Ohledání dopravní nehody [26]	48
Obrázek 36. Dopravní nehoda Škody Favorit a Chrysleru, kdy data z nárazové zkoušky budou použity ve forenzní analýze skutečného případu [Zdeněk Marek]	48
Obrázek 37. Dynamické zkoušky dětského chodce a dětského cyklisty při střetu s osobním vozidlem skenované s FARO Focus [27]	49
Obrázek 38. Skenování a exportování dat pro rekonstrukci obličeje [26]	50
Obrázek 39. Pískovcová socha světce svatého Jana Křtitele na Maltézské náměstí v Praze [Zdeněk Marek]	51
Obrázek 40. 3D model rekonstruovaného objektu [Zdeněk Marek]	51
Obrázek 41. Skener Itero Element pro dentální aplikaci [28]	52
Obrázek 42. Zkušební jednopoziční bubnový stroj s namontovanou opěrnou deskou [vlastní zdroj]	59
Obrázek 43. Laserový snímač vzdálenosti Baumer OADM 20I2480/S14C a jeho rozměry [7].....	66
Obrázek 44. Ultrazvukový snímač Baumer U500.DA0 a jeho rozměry [7]	66
Obrázek 45. Kolejnice WER17R s vozíčkem širokým WEH 17CA Z0H [30]	67
Obrázek 46. Nosič laserového snímače [vlastní zdroj]	67
Obrázek 47. Držák ultrazvukového snímače [vlastní zdroj].....	68
Obrázek 48. Nosný profil 60x60 [vlastní zdroj]	68
Obrázek 49. Drážková matice v nosném profilu [31].....	69
Obrázek 50. Nosný profil s ocelovou destičkou, třmenem a excentrem [vlastní zdroj]	69
Obrázek 51. Výkres bezkontaktního měřicího zařízení [vlastní zdroj]	70
Obrázek 52. Náskres sestavy měřicího zařízení [vlastní zdroj]	72
Obrázek 53. Bezkontaktní 2D měřicí zařízení [vlastní zdroj]	73
Obrázek 54. Schéma zapojení a barevné označení vodičů laserového snímače [7]	74
Obrázek 55. Zástrčka přímá M12 8pinů [32]	74
Obrázek 56. Schéma zapojení a barevné označení vodičů na kabelovém vyvedení ze zkušebního stroje [7]	74
Obrázek 57. Stíněný napájecí kabel pro laserový snímač (zásuvka) Baumer ESG 34CH0500G [7]	74

<i>Obrázek 58. Schéma zapojení a barevné označení vodičů ultrazvukového snímače [7]</i>	<i>75</i>
<i>Obrázek 59. Stíněný napájecí kabel pro ultrazvukový snímač (zásuvka) Baumer ESW 33AH0500G [7]</i>	<i>75</i>
<i>Obrázek 60. Celkové zapojení snímačů [vlastní zdroj]</i>	<i>76</i>
<i>Obrázek 61. Signálový převodník Weidmüller WAS5 CVC HF a jeho zapojení [32]</i>	<i>77</i>
<i>Obrázek 62. Zapojení signálového převodníku Weidmüller WAS5 CVC HF a zdroje napájení [vlastní zdroj]</i>	<i>77</i>
<i>Obrázek 63. Zapojení snímačů na USB modul Advantech [vlastní zdroj]</i>	<i>78</i>
<i>Obrázek 64. Volba geometrie měřicího zařízení [vlastní zdroj]</i>	<i>79</i>
<i>Obrázek 65. Původní řešení pozice snímače U500 [vlastní zdroj]</i>	<i>79</i>
<i>Obrázek 66. Ověření snímače U500 [vlastní zdroj]</i>	<i>80</i>
<i>Obrázek 67. Posuvná měřidla digitální Scala a MITUTOYO [vlastní zdroj]</i>	<i>82</i>
<i>Obrázek 68. Kalibrační list laserového snímače [vlastní zdroj]</i>	<i>84</i>
<i>Obrázek 69. Stanovení regresních koeficientů použitých snímačů [vlastní zdroj]</i>	<i>84</i>
<i>Obrázek 70. Simatic S7-300 PLC [34]</i>	<i>87</i>
<i>Obrázek 71. Měření výrobku [vlastní zdroj]</i>	<i>88</i>
<i>Obrázek 72. Vnější kontura zatížené pneumatiky [vlastní zdroj]</i>	<i>88</i>
<i>Obrázek 73. Vnější kontura zatížené pneumatiky [vlastní zdroj]</i>	<i>89</i>

SEZNAM TABULEK

<i>Tabulka 1. Právní předpisy v oblasti metrologie [18].....</i>	<i>32</i>
<i>Tabulka 2. Základní jednotky SI [18]</i>	<i>34</i>
<i>Tabulka 3. Předpony a jejich značky pro určení dekadických násobků a dílů [18].....</i>	<i>34</i>
<i>Tabulka 4. Položkový rozpočet měřícího zařízení [vlastní zdroj]</i>	<i>71</i>

SEZNAM PŘÍLOH